

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vygantas ŽĖKAS

# SKLYPO ATSINAUJINANČIUS ENERGIJOS IŠTEKLIUS NAUDOJANČIŲ TECHNOLOGIJŲ ATRANKOS METODAS

MOKSLO DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
ENERGETIKA IR TERMOMINŽINERIJA (06T)



Vilnius LEIDYKLA TECHNICA 2014

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Vadovas**

prof. habil. dr. Vytautas MARTINAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, energetika ir termoinžinerija – 06T).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Energetikos ir termoinžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

### **Pirmininkas**

prof. habil. dr. Rimantas KAČIANAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, energetika ir termoinžinerija – 06T).

### **Nariai:**

prof. habil. dr. Dagnija BLUMBERGA (Rygos technikos universitetas, energetika ir termoinžinerija – 06T),

prof. habil. dr. Benediktas ČESNA (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, energetika ir termoinžinerija – 06T),

doc. dr. Arnas KAČENIAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Vladislovas Algirdas KATINAS (Lietuvos energetikos institutas, energetika ir termoinžinerija – 06T).

Disertacija bus ginama viešame Energetikos ir termoinžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2014 m. gruodžio 4 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2014 m. lapkričio 3 d.

Disertaciją galima peržiūrėti interneto svetainėje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VG TU leidyklos **TECHNIKA 2271-M** mokslo literatūros knyga.

ISBN 978-609-457-717-8

© VG TU leidykla **TECHNIKA**, 2014

© Vygantas Žėkas, 2014

[vygantas.zekas@vgtu.lt](mailto:vygantas.zekas@vgtu.lt)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Vygantas ŽĖKAS

# SELECTION METHOD OF TECHNOLOGIES TRANSFORMING RENEWABLE ENERGY SOURCES OF THE SITE

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
ENERGETICS AND POWER ENGINEERING (06T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2014

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2010–2014.

### **Supervisor**

Prof Dr Habil Vytautas MARTINAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Energetics and Power Engineering – 06T).

The Dissertation Defense Council of Scientific Field of Energetics and Power Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

### **Chairman**

Prof Dr Habil Rimantas KAČIANAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Energetics and Power Engineering – 06T).

### **Members:**

Prof Dr Habil Dagnija BLUMBERGA (Ryga Technical University, Energetics and Power Engineering – 06T),

Prof Dr Habil Benediktas ČESNA (Vilnius Gediminas Technical University, Energetics and Power Engineering – 06T),

Assoc Prof Dr Arnas KAČENIAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Habil Vladislovas Algirdas KATINAS (Lithuanian Energy Institute, Energetics and Power Engineering – 06T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defense Council of Scientific Field of Energetics and Power Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a. m. on 4 December 2014.**

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intend defending of the dissertation was send on 3 November 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Internet website <http://dspace.vgtu.lt/> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

# Reziumė

Disertacijoje nagrinėjami pastato sklypą pasiekiantys atsinaujinančiųjų energijos išteklių (AEI) šrantai, kaip pastato sklype esantis atsinaujinančiosios energijos potencialas. Atliekamas teorinis ir techninis potencialo vertinimas. Pagrindinis disertacijos tikslas – kompleksiskai įvertinti sklype disponuojamą AEI potencialą ir sukurti metodą, leidžiantį suformuoti pirminę AEI transformavimo technologinę koncepciją, parankiausią energijos vartotojo poreikiams patenkinti. Koncepcijoje suformuota technologijų prioritetinė eilė ir potencialo vertinimo informacija būtų pagrindas tolesniam sklypo vystymo modeliavimo etapui.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, išvados ir naudotos literatūros sąrašas.

Įvadiniam skyriuje aptariamas darbo aktualumas, tyrimo objektas, darbo tikslas. Darbo tikslui pasiekti suformuoti uždaviniai ir ginamieji teiginiai, pristatyti tyrimų metodai, mokslinio darbo naujumas ir praktinė darbo nauda. Įvado pabaigoje pateiktas darbo rezultatų aprobavimas.

Pirmajame skyriuje pateikta AEI integracijos, jos apimties nustatymo mokslo ir praktinių darbų apžvalga. Taip pat apžvelgti meteorologinių duomenų rinkimo ir statistinio duomenų apdorojimo būdai. Aptariami AEI transformuojančių technologijų pirminio modeliavimo principai ir taikomi metodai. Atlikta tyrimų apžvalga leidžia nustatyti tyrimų kryptį ir suformuluoti uždavinius, leidžiančius pasiekti tyrimo tikslą.

Antrajame skyriuje pristatomi darbe sukurti teorinio ir techninio AEI potencialo kompleksinio nustatymo ir AEI transformatorių atrankos metodai. Aprašomas veiksmų algoritmas ir sukurti matematiniai modeliai.

Trečiajame skyriuje pateikiami trijų sklypų atvejo analizės bendrieji rezultatai ir detalus vieno sklypo analizės rezultatų vertinimas. Analizė atlikta taikant sklypo atsinaujinančią energiją transformuojančių technologijų atrankos metodą.

Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Disertacijos tema paskelbti 6 straipsniai: 3 recenzuojamuose mokslo žurnaluose ir 2 tarptautinių konferencijų bei 1 respublikinės konferencijos pranešimų medžiagoje.

# Abstract

Renewable energy sources (RES) flows reaching the site of the building as renewable energy potential disposable at the site is analyzed in this doctoral dissertation. Theoretical and technical evaluation of the potential is performed. The main objective – comprehensively evaluate the RES potential disposable on site and develop a method used to create the initial technological concept of RES transformation that would be the most relevant to meet the needs of energy users. Sequence of technologies' priorities of the concept and outcomes of potential evaluation shall be taken as the basis for further site development simulation.

The doctoral dissertation consists of introduction, three chapters, conclusions and the list of references.

Relevance of the dissertation, the object of the research and the main objective are discussed in the introduction chapter. Here, the tasks needed to reach the main objectives also the defensive statements were developed as well as the research methods, novelty of the study and practical benefits were presented. Approbation of the results is supplied at the end of the introduction part.

Review of scientific and practical researches of RES integration as well as its scoping is presented in the first chapter. It also includes the overview of meteorological data collection and use as well as statistical data processing methods and options of its use. Principles of RES transformation technologies initial simulation and applied methods are also discussed. Performed overview of researches allows to set the directions of the studies as well as to develop the tasks to achieve the objectives of the study.

Study developed methods of theoretical and technical RES potential comprehensive setting and RES transformers selection are presented in the second chapter. Algorithm of actions and developed mathematical models are presented.

General results of three case studies and detailed evaluation of one case study results are presented in the third chapter. The analysis is performed on the basis of the selection method of technologies transforming the renewable energy of the site.

The research was supported by the Research Council of Lithuania.

6 articles are published on the topic of this doctoral dissertation: three – in peer-reviewed scientific periodical journals, two in material of international and one in national conferences.

---

# Žymėjimai

## Santrumpos

AEI – atsinaujinantieji energijos ištekliai;  
GIS – geografinė informacinė sistema;  
LDAE – lokaliai disponuojama atsinaujinanti energija;  
SC – saulės kolektorių technologija;  
SW – neįstiklintas pratakus saulės kolektorius;  
HGv – gruntinis šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi;  
HGh – gruntinis šilumos siurblys su horizontaliu kolektoriumi;  
HA/HW – orinis / vandeninis šilumos siurblys;  
SE – saulės fotoelementai;  
WE – vėjo jėgainė.





---

# Turinys

IVADAS .....	1
Problemos formulavimas .....	1
Darbo aktualumas .....	2
Tyrimo objektas .....	3
Darbo tikslas .....	3
Darbo uždaviniai .....	3
Tyrimų metodika .....	4
Darbo mokslinis naujumas .....	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė .....	4
Ginamieji teiginiai .....	4
Darbo rezultatų aprobavimas .....	5
Disertacijos struktūra .....	5
 1. ATSINAUJINANČIŲJŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ VERTINIMO APŽVALGA .....	7
1.1. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialas planuojant sklypo vystymą .....	7
1.2. Informacijos apie atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialą pateikimas .....	9
1.3. Meteorologinių duomenų paruošimas ir jų tikslumas .....	10
1.4. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių struktūra .....	13
1.5. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių įvertinimas .....	16
1.6. Statistinis atsinaujinančių energijos išteklių charakteristikų įvertinimas .....	19
1.7. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių technologijų atranka .....	20
1.8. Autoriaus indėlis į nagrinėjamą tematiką .....	22

1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas .....	23
<b>2. SKLYPO ENERGINIO POTENCIALO TYRIMO METODINĖ DALIS .....</b>	<b>25</b>
2.1. Kompleksinis sklypą pasiekiančio atsinaujinančių energijos išteklių potencialo įvertinimas .....	25
2.2. Meteorologinių duomenų ruošimas .....	27
2.3. Sklypo kontrolinio erdvės tūrio pasirinkimas .....	27
2.4. Sklypo kontrolinį tūrį pasiekiančio atsinaujinančiųjų energijos išteklių srauto energinis įvertinimas .....	29
2.4.1. Teorinio energijos išteklių potencialo srautų vertinimo skaičiavimo modelis .....	30
2.4.2. Techninio energijos išteklių potencialo srautų vertinimo skaičiavimo modelis .....	33
2.4.3. Energijos išteklių srauto skirstymas į sezonus .....	42
2.5. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių ir juos naudojančio technologijos atrankos metodas .....	43
2.6. Energijos išteklių ir juos naudojančios technologijos suderinamumo su energijos poreikiais rodiklių nustatymas .....	44
2.6.1. Sklype formuojami energijos poreikiai .....	48
2.6.2. Energijos poreikio užtikrinimo rezervo rodiklio R1 nustatymas .....	50
2.6.3. Energijos poreikio užtikrinimo nuoseklumo rodiklio R2 nustatymas .....	55
2.6.4. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiu laiko periodu rodiklio R3 nustatymas .....	57
2.7. Sklypo energinio potencialo duomenų rinkmenos struktūra .....	60
2.7.1. Techninė sklypo informacija .....	62
2.7.2. Meteorologinė sklypo informacija .....	62
2.7.3. Sklypo atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo informacija .....	63
2.7.4. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų informacija .....	64
2.8. Antrojo skyriaus išvados .....	65
<b>3. SKLYPO ENERGINĮ POTENCIALĄ NAUDOJANČIŲ TECHNOLOGIJŲ ATRANKOS REZULTATAI .....</b>	<b>67</b>
3.1. Vidutinių platumų klimato zonos trijų sklypų energinis įvertinimas .....	67
3.2. Trijų sklypų teorinio energijos išteklių potencialo įvertinimo rezultatai .....	70
3.3. Vieno sklypo teorinio energijos išteklių potencialo detali analizė .....	72
3.3.1. Metinė teorinio energijos išteklių potencialo dinamika .....	72
3.3.2. Teorinio išteklių potencialo sezoniškumo įvertinimas .....	74
3.3.3. Išteklių potencialo statistinis įvertinimas .....	77
3.4. Trijų sklypų techninio energijos išteklių potencialo vertinimo rezultatai .....	83
3.5. Atsinaujinančios energijos išteklių potencialo energinio vertinimo rezultatų aptarimas .....	86
3.6. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų atrankos rezultatai .....	88
3.6.1. Trijų sklypų suvestinė technologijų atrankos informacija .....	89
3.6.2. Patalpų šildymo alternatyva .....	90
3.6.3. Karšto vandens ruošimo alternatyva .....	92

3.6.4. Vėsinimo alternatyva .....	94
3.6.5. Elektros generavimo alternatyva .....	95
3.6.6. Suvestiniai technologijų atrankos rodiklių rezultatai .....	96
3.7. Atsinaujinančios energijos išteklių atrankos rezultatai .....	97
3.8. Kompiuterinės energijos išteklių potencialo vertinimo priemonės kūrimas .....	99
3.9. Trečiojo skyriaus išvados .....	100
 BENDROSIOS IŠVADOS .....	 103
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI .....	105
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS ....	111
SUMMARY IN ENGLISH .....	113
 PRIEDAI .....	 129
A priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijų medžiagą disertacijoje .....	130
B priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos. ....	136



---

# Contents

INTRODUCTION .....	1
The problem of research.....	1
Importance of the thesis.....	2
The object of research .....	3
The aim of the thesis .....	3
The tasks of the thesis .....	3
Methodology of research.....	4
Scientific novelty.....	4
Practical significance of the obtained results.....	4
The defended propositions .....	4
Approval of the research results .....	5
The structure of the dissertation .....	5
1. REVIEW OF RENEWABLE ENERGY SOURCES EVALUATION.....	7
1.1. Renewable energy sources potential in site development planning.....	7
1.2. Renewable energy sources potential information .....	9
1.3. Metereological data preparation and accuracy .....	10
1.4. Structure of renewable energy sources .....	13
1.5. Evaluation of renewable energy sources .....	16
1.6. Statistical evaluation of renewable energy sources flows values .....	19
1.7. Selection of renewable energy sources technologies.....	20

1.8. Author's contribution to the analyzed theme.....	22
1.9. Conclusions of the chapter 1 and formulation of the thesis tasks.....	23
<b>2. METHODOLOGICAL PART OF THE SITE ENERGY POTENTIAL STUDY.....</b>	<b>25</b>
2.1. Comprehensive evaluation of renewable energy potential reaching the site .....	25
2.2. Preparation of meteorological data for renewable energy sources evaluation.....	27
2.3. Selection of site control volume area.....	27
2.4. Energy evaluation of renewable energy sources flow reaching the site control volume .....	29
2.4.1. Calculation model of renewable energy sources theoretical potential flows evaluation .....	30
2.4.2. Calculation model of renewable energy sources technical potential flows evaluation .....	33
2.4.3. Renewable energy sources energy flow seasonal division.....	42
2.5. Selection method of renewable energy sources and their use technology .....	43
2.6. Setting of indicators of renewable energy sources and their use technology compatibility with energy needs .....	44
2.6.1. Energy needs of site.....	48
2.6.2. Setting of energy needs meeting reserve indicator R1 .....	50
2.6.3. Setting of energy needs meeting consistency indicator R2 .....	55
2.6.4. Setting of renewable energy sources potential passing with needs over the time indicator R3.....	57
2.7. Structure of the site energy potential data file structure .....	60
2.7.1. Site technical data.....	62
2.7.2. Site meteorological data.....	62
2.7.3. Site renewable energy sources potential data .....	63
2.7.4. Renewable energy sources transforming technologies data .....	64
2.8. Conclusions of the chapter 2 .....	65
<b>3. RESULTS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES POTENTIAL TRANSFORMING TECHNOLOGIES SELECTION .....</b>	<b>67</b>
3.1. Energy evaluation of three sites from middle climate zone .....	67
3.2. Results of energy sources theoretical potential evaluation of three sites.....	70
3.3. Detailed analysis on renewable energy sources theoretical potential of one site ..	72
3.3.1. Total annual dynamics of renewable energy sources theoretical potential ..	72
3.3.2. Evaluation of renewable energy sources theoretical flow seasonality .....	74
3.3.3. Statistical evaluation of renewable energy sources flow .....	77
3.4. Results of renewable energy sources technical potential evaluation of three sites	83
3.5. Overview of renewable energy sources flows energy evaluation results .....	86
3.6. Results of renewable energy sources use technologies selection .....	88
3.6.1. Summary information of technologies selection of three sites .....	89
3.6.2. Rooms' heating alternative .....	90
3.6.3. Hot water preparation alternative.....	92
3.6.4. Cooling alternative.....	94
3.6.5. Electricity generation alternative .....	95

3.6.6. Summary results of technologies selection indicators .....	96
3.7. Results of renewable energy source selection .....	97
3.8. Development of computer renewable energy sources potential evaluation tools ..	99
3.9. Conclusions of the chapter 3 .....	100
GENERAL CONCLUSIONS .....	103
REFERENCES .....	105
LIST OF AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE THEME OF DOCTORAL DISERTATION .....	111
SUMMARY IN ENGLISH.....	113
ANNEXES.....	129
A priedas. The co-authors agreement to present publications. ....	130
B priedas. Copies of author scientific publications on the subject of dissertation . ....	136





---

# Įvadas

## Problemos formulavimas

Įprastai AEI panaudojimas suprantamas kaip saulės ir vėjo energijos, grunto šilumos, tekančio vandens ir biomasės energijos panaudojimas. Šios išteklių formos yra tradicinės – jų technologiniai sprendiniai tobulinami jau dešimtmečius. Visuomenėje plačiai žinomos saulės kolektorių, saulės fotoelementų, vėjo jėgainių, hidroelektrinių ar šilumos siurblių technologijos, jų tarpusavyje integruoti sprendimai ir didėjantys efektyvumo rodikliai. Geresni efektyvumo rodikliai leidžia vis sparčiau didinti panaudotų atsinaujinančiųjų energijos išteklių kiekį. Tačiau integracijos mastai dažnai priklauso nuo sėkmingo technologinio sprendinio pritaikymo prie įrenginių vietinių darbo sąlygų. Tarp skirtingų AEI naudojančių technologinių sprendinių pardavėjų šalininkų pastebima didelė konkurencija. Ne visada įmanoma atrasti pagrįstus ir objektyvius atsakymus į klausimus apie alternatyvius apsirūpinimo energija būdus. Daugelis technologinių įrenginių ir sprendimų planuojama, kuriama ir jų deklaruojamas darbo efektyvumas nustatomas esant standartinėms laboratorinėms darbo sąlygoms. Sumontavus įrenginį natūralioje ir dažnai chaotiškoje gamtos aplinkoje pageidaujamo įrenginių efektyvumo nepasiekama arba nepatenkinami planuoti energijos poreikiai. Juo labiau, esant kelioms

alternatyvioms AEI panaudojimo technologijoms, nėra aiškaus kelio, kuriuo einant būtų pasirinkta tinkamiausia.

Populiarėjant technologiniams AEI integracijos sprendiniams būtina į AEI žiūrėti kompleksiskai ir vertinti juos pasirinkus vienodą sprendimų techninį detalumą. Formuojamas poreikis energijos vartotojo sklype įvertinti turimą AEI potencialą, išryškinti potencialo kiekybines ir kokybines charakteristikų gaires, turėti pagrindines sklypo energines charakteristikas ir šių duomenų pagrindu suformuoti pirminę technologinę sklypo vystymo koncepciją. Tai turėtų būti integruoto projektavimo informacinis atskaitos taškas, nuo kurio prasidėtų tolesni modeliavimo etapai.

Disertacijoje spendžiama pirminės sklypo, kaip mažiausio dalomo teritorijos elemento, AEI technologinės koncepcijos vystymo problema.

## Darbo aktualumas

Ryškiausi šiandienos energetikos bruožai yra: finansinių ir politinių instrumentų taikymas atsinaujinančiųjų energijos išteklių (AEI) integracijai didinti, iš dalies su tuo susijęs nevienodas pavienių AEI technologijų diegimo intensyvumas, didėjantis energijos vartotojų sąmoningumas bei auganti alternatyvaus apsirūpinimo energija planavimo ir technologijų diegimo patirtis. Bruožus išryškina pasauliniu ir regioniniu lygiu iškelti strateginiai tikslai – skatinti racionalų energijos vartojimą, didinti alternatyvų, pirmiausia AEI, panaudojimą ir stabilizuoti iškastinio kuro naudojimo neigiamą poveikį aplinkai. Skirtingose valstybėse ar regionuose, priklausomai nuo disponuojamo iškastinio kuro kiekio ar jo paskirstymo magistralinių tiekimo linijų masto, tų tikslų yra siekiama skirtingomis priemonėmis ar jų apimtimi.

Tarptautinės energetikos agentūros strateginiame plane „*Towards Near-Zero Primary Energy Use and Carbon Emissions in Buildings and Communities*“ (International Energy Agency. 2007–2012 Strategic Plan) pateikiama 2030 metų energijos vartotojo ateities vizija „G.O.L.D (Global Optimized Local Designed)“ tinkamai parodo aiškų poreikį atsižvelgti į globalią sprendinių įtaką ir mastą, tačiau drauge organizuoti energijos poreikių patenkinimą naudojant vietinius energijos išteklius. 2010 m. gegužės 19 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje dėl pastatų energinio naudingumo (Directive 2010/31/EU. 2013) pateikta nuostata, kad naujai statomi beveik nulinės energijos pastatai energija turi būti aprūpinti iš vietoje ar greta statyb vietės disponuojamų AEI. Tai tik dar kartą pabrėžia tiek AEI svarbą tolesniam energijos vartotojų kūrimo procesui, tiek ir vietos planavimo sąlygų įtaką. Nėra metodo, kuris leistų įvertinti vietos planavimo sąlygų įtaką, tuo pačiu kompleksiskai būtų nustatytas sklypą pasiekiantis AEI srautas ir būtų

suformuota pirminė technologinė sklypo energinio potencialo panaudojimo koncepciją.

## **Tyrimo objektas**

Tyrimo objektas yra sklypo kontrolinio tūrio erdvė ir į ją patenkantys atsinaujinančiosios energijos srautai, kurie suformuoja sklypo energinį potencialą. Analizuojami saulės ir vėjo energijos, grunto ir oro šilumos srautai.

## **Darbo tikslas**

Darbo tikslas – kompleksiškai įvertinti sklype disponuojamą AEI potencialą ir sukurti metodą, leidžiantį suformuoti pirminę AEI transformavimo technologinę koncepciją, kuri geriausiai patenkintų energijos vartotojo poreikius ir būtų pagrindas tolesniam sklypo vystymo modeliavimo etapui.

## **Darbo uždaviniai**

Darbo tikslui pasiekti buvo suformuluoti tokie uždaviniai:

1. Sisteminės analizės pagrindu suformuoti sklypą pasiekiančių charakteringų AEI srautų struktūrą.
2. Atlikti kiekybinę sklypo kontrolinį tūrį pasiekiančių atsinaujinančiųjų energijos išteklių energijos srautų analizę.
3. Parengti bazinį sklypo energijos srautų kiekybinio vertinimo matematinį modelį ir naudojant Qt atvirojo kodo bibliotekas grafinę duomenų interpretacijai sukurti matematinį modelį C++ programavimo kalba.
4. Panaikinti statistinės analizės metodais ekstremalių energijos srauto reikšmių įtaką galutiniams AEI potencialo rodikliams.
5. Sukurti AEI technologijų parinkimo metodą, kuriuo sklypo energetinės charakteristikos suderinamos su sklypo, kaip energijos vartotojo, galutinės energijos poreikiais.
6. Suformuoti sklypo AEI potencialą pristatančią ir tolesniam sklypo vystymo modeliavimui tinkamą energetinių charakteristikų rinkmeną.

## **Tyrimų metodika**

Šiame tyrime integrali sklypo, jį pasiekiančių atsinaujinančiosios energijos srautų, jų transformavimo technologijų ir galutinės energijos vartojimo sistema vertinama sisteminės ir termodinaminės analizės principais. Modelio hipotezės, prielaidos ir veiksniai tikrinami atvejų analizės metodu. Tyrimo rezultatai apdorojami aprašomosios statistikos metodais. Nustatomos AEI srautus detaliau nusakančios statistinės charakteristikos.

## **Darbo mokslinis naujumas**

1. Sukurtas lokaliai disponuojamo atsinaujinančiosios energijos potencialo įvertinimo termodinaminis modelis. Skaičiavimo modelis realizuotas programa „MS Excel“ bei C++ programavimo kalba panaudojant Qt atvirojo kodo bibliotekas.
2. Sukurtas AEI technologijų parinkimo metodas, kurio pagrindas – trys energijos poreikių ir AEI technologijų suderinamumo įvertinimo rodikliai.
3. Sukurta sklypo struktūriškai tapataus detalumo energines charakteristikas pristatanti informacijos rinkmena, leidžianti įvertinti galimą sklypo energetinio vystymo scenarijų.

## **Darbo rezultatų praktinė reikšmė**

Kompleksinio AEI energijos srautų vertinimo kiekybiniai rodikliai, metinė srautų dinamika ir statistiniai įverčiai, atsižvelgiant į sklype formuojamus energijos poreikius, leidžia objektyviau parinkti tinkamiausią AEI technologiją. Siūlomi poreikių ir AEI technologijų suderinamumo rodikliai leidžia sukurti pirminę atsinaujinančiosios energijos transformavimo koncepciją, parankią tolesniam sklypo vystymo modeliavimo etapui.

## **Ginamieji teiginiai**

1. Sklypą pasiekiančio AEI energijos srautų sisteminė analizė leidžia sklypą ir jame disponuojamą AEI potencialą vertinti kaip vieną sistemą, kurioje tarp atskirų AEI tipų ir sklypo yra kiekybiniais rodikliais išreiškiami ryšiai.

2. Siekiant didesnės inžineriškai pagrįstos AEI integracijos, atsinaujinančiosios energijos išteklius būtina vertinti kaip energijos srautus, pasiekiančius sklypo kontrolinį tūrį bei pasirinkus vienodą išteklius transformuojančių sprendimų techninį detalumą.
3. Termodinaminis sklypo modelis leidžia apsibrėžtose geometrinėse kontrolinio tūrio ribose konkrečiu momentu įvertinti sklypą pasiekiančius AEI srautus.
4. Kompleksinis sklypo AEI potencialo ir energijos poreikių suderinamumo įvertinimas leidžia suformuoti pirminę AEI technologijų koncepciją, reikalingą tolesniems integruoto projektavimo modeliavimo etapams. Jie leidžia nustatyti AEI transformuojančių technologijų ir atsinaujinančiųjų energijos išteklių prioritetus.
5. Sklypo kompleksinio AEI vertinimo duomenų rinkmena leidžia sukurti pirminę AEI technologinę tolesnio detalaus modeliavimo koncepciją.

## **Darbo rezultatų aprobavimas**

Disertacijos tema paskelbtos 6 mokslinės publikacijos recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose.

Disertacijoje teikiama medžiaga buvo skelbiama 4 konferencijose:

1. Tarptautinėje konferencijoje „52th International Scientific Conference of Riga Technical University“, Latvija 2011.
2. Mokslinėje konferencijoje „Šilumos energetika ir technologijos – 2013“ KTU, Kaunas, 2013.
3. Tarptautinėje konferencijoje CYSENI 2013, LEI, Kaunas, 2013.
4. Tarptautinėje konferencijoje „International congress on energy efficiency and energy related materials“, ENEFM-2013, Kemer, Antalija, Turkija.

## **Disertacijos struktūra**

Disertacija sudaro įvadas, 3 skyriai, išvados ir naudotos literatūros sąrašas. Darbo apimtis neskaitant priedų – 128 puslapiai, pateikti 46 paveiksai, 32 lentelės ir 71 literatūros šaltinis.



---

# Atsinaujinančiųjų energijos išteklių vertinimo apžvalga

## 1.1. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialas planuojant sklypo vystymą

Vienas iš pagrindinių strateginių Europos Sąjungos tikslų (Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy) yra siekti, kad iki 2020 metų 20 % visos suvartojamos energijos sudarytų iš AEI gaunama energija. Šis tikslas pirmiausia įpareigoja kurti teisinius, ekonominius ir inžinerinius instrumentus, kuriuos panaudojant būtų galima siekti užsibrėžto tikslo. Šio tikslo turi būti siekiama harmoningais veiksmais (Nagy *et al.* 2012), atsižvelgiant į energijos vartojimo poreikį, disponuojamų AEI kiekį, kokybę ir struktūrą. Intensyvėjant AEI integracijai, harmonizavimo klausimas tampa vis aktualesnis, drauge jaučiamas aiškus poslinkis (Mendes *et al.* 2011) tiek energijos generavimo, tiek ir energijos vartojimo srityse. Poslinkis įprastai yra išreiškiamas paskirstyto energijos generavimo (angl. *Distributed Generation*) samprata (Ackermann *et al.* 2001; Gianfranco *et al.* 2009), nes viena iš pagrindinių AEI ypatybių yra savybė egzistuoti bet kuriame planetos taške, tik skirtingos formos bei apimties. Kita vertus, bet kuriose platumose energijos

vartojimą daugeliu atvejų suformuoja pastatai. Jie yra labai svarbūs sprendžiant energetikos problemas, nes yra dideli galutiniai energijos vartotojai, juose glūdi potencialas iš esmės pagerinti energijos vartojimo efektyvumą. Todėl paskirstytasis energijos generavimas naudojant AEI turėtų būti derinamas su pastato, kaip paskirstyto energijos vartotojo, poreikiais. Didinant energijos vartojimo pastatuose efektyvumą, pirmiausia yra mažinamas ar optimaliai išdėstomas energijos poreikis laike ir ieškoma būdų, kaip efektyviau integruoti energijos poreikius patenkinančias technologijas (Mikučionienė *et al.* 2014; Lapinskienė *et al.* 2013; Lapinskienė *et al.* 2014; Motuzienė *et al.* 2013; Motuzienė *et al.* 2013; Motuzienė *et al.* 2014).

Tarptautinės energetikos agentūros publikuotame strateginiame plane „Towards Near-Zero Primary Energy Use and Carbon Emissions in Buildings and Communities“ (International Energy Agency. 2007–2012 Strategic Plan) pateikiama 2030 metų energijos vartotojo ateities vizija „G.O.L.D“ (angl. *Global Optimized Local Designed*) tinkamai atspindi tiek veiksmų harmonizavimo poreikį, tiek ir naujas energijos generavimo ir vartojimo tendencijas, t. y. aiškų poreikį planavimo stadijoje atsižvelgti į globalią sprendinių įtaką ir mastą, tačiau drauge siekti patenkinti poreikius naudojant vietinius resursus, atsižvelgiant į lokalius apsupties įtakos veiksnius. Tokiame kontekste harmonizuotos atsinaujinančiosios energijos integracijos pagrindinės trys kryptys (Nagy *et al.* 2012) būtų šios:

1. Galimybė lanksčiai keisti atsinaujinančiosios energijos kiekį ir struktūrą, atsižvelgiant į objektyvų visuomenės energijos poreikį.
2. Tolesnis sąlygų, leidžiančių padidinti poreikių lankstumą ir prisitaikymą prie naujų technologijų, sudarymas.
3. Technologinis, institucinis ir kultūrinis vystymasis, siekiant tiekimo ir vartojimo harmonizavimo.

Deja, statybos procesui dėl daug dalyvių ir jų įvairovės būdingas decentralizuotas, susiskaldęs sprendimų priėmimas, pelno rizikos baimė, konservatyvumas, o dėl to vengiama inovacijų ir prarandama daug galimybių (Altwies *et al.* 2013). Vis dėlto šių problemų sprendimas nėra atidėliojamas. Viena vertus, diegiamos ir tobulinamos pastatų kūrimo priemonės, naudojamos tradicinei statybos proceso koncepcijai priartėjus iki integruoto viso pastato projektavimo proceso (angl. *Integrated whole Building Design*) (Integrated Whole Building Design Guidelines. 2012) ar vis dažniau dabar vadinamo integruoto projekto ruošimo (angl. *Integrated project delivery*) (AIA, Integrated Project Delivery: A Guide (Version 1), 2007) kartu su pastato ir jo inžinerinių sistemų gyvavimo ciklo analize. Kita vertus, plėtojama skaitmeninio pastato (angl. *Digital building*) koncepcija (Watson *et al.* 2011), kompiuterinės technologijos statybos procesui siūlantį įvairių naujų pasiekimų: nuo prieš porą



dešimtmečių pasirodžiusių automatizuoto projektavimo (angl. *Computer Aided Design*) iki pastato informacinio modeliavimo (angl. *Building Information Model*) (Isikdag 2012; Barlish *et al.* 2012; Popov *et al.* 2010; Migilinskas *et al.* 2013). Didėja integruoto projekto ruošimo ir pastato informacinio modeliavimo koncepcijų integracija, identifikuojamos ir sprendžiamos šio proceso problemos (Barlish *et al.* 2012; Popov *et al.* 2010; Migilinskas *et al.* 2013; Cholakakis *et al.* 2011; Xie *et al.* 2011; Wright *et al.* 2011; Azari-Najafabadi *et al.* 2011; Sebastian *et al.* 2010). Be to, plėtojami ir ekologinės inžinerijos pagrindu grindžiami inžinerinio valdymo (angl. *Ecological Engineering based Engineering Management*) modeliai (Jiuping *et al.* 2012). Šioje minėtų procesų vystymo situacijoje reikalingos koncepcijos, atitinkančios harmonizuotą atsinaujinančiosios energijos integraciją, ypač jos technologinio, institucinio ir kultūrinio vystymosi kryptį bendradarbiaujant architektams, inžinieriams ir konstruktoriams. Savo ruožtu inžinerija turi būti pasirengus suteikti kokybišką pagalbą pradiniam projektavimo etape, kai formuojama pastato koncepcija. Kaip teigiama (Hensen 2010), sprendinių klausimų ratas yra dar platesnis: daugiasluksniai metodai (nuo konstrukcinių detalių iki regioninio lygio), neapibrėžtumo, jautrumo ir patvarumo analizės, optimizavimas esant neapibrėžtumams, reversinis sprendimo būdas (užuoat klausus „kas jeigu“, siekiama pateikti atsakymą į klausimą „kaip daryti“), integracija į statybų etapą, procesų kompiuterinis modeliavimas ir pan.

Atsižvelgiant į minėtų klausimų gausą ir naujo inžinerinio objekto plėtos stadijų susipynimą, yra suprantama, kad išeities duomenys sprendžiant inžinerinius klausimus yra vienas iš kertinių elementų, visų pirma leidžiančių pasiekti pageidaujamą energijos vartojimo efektyvumą, sprendinių optimalumą ir leidžiančių pagrįstai suplanuoti būsimą pastato eksploataciją.

## **1.2. Informacijos apie atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialą pateikimas**

Išpopuliarėjus kompiuterinėms technologijoms ir sukaupus reikiamas žemės reljefo duomenų bazes vis plačiau taikomas erdvinis AEI modeliavimas (Ramachandra *et al.* 2007; Baltas *et al.* 2012). Vienas iš pagrindinių erdvinio modeliavimo įrankių yra geografinė informacinė sistema (angl. *Geographical Information System*, GIS). GIS panaudojimas vertinant AEI potencialą ir išsidėstymą teritorijoje yra plačiai žinomas ir taikomas (Van Hoesen *et al.* 2010; Koroneos *et al.* 2003; Omitaomu *et al.* 2012). GIS suteikia galimybę nagrinėti apsibrėžtos teritorijos energinio potencialo išsidėstymą ir rezultatus pateikti erdvinį planų forma. Be šiuo metodu gautų techninių duomenų, naudojami optimizavimo sprendimo būdai (Omitaomu *et al.* 2012; Malczewski 2006), kurie

leidžia objektyviau ir efektyviau planuoti naujų AEI projektų įgyvendinimo vietas ir mastą. Omitaomu *et al.* (2012) savo darbe naudoja rastrinį žemėlapių sudarymo mastelį, kurio mažiausi matmenys yra 100x100 m. Toks mastelis, autorių teigimu, yra smulkiausias iš žinomų ir naudojamų JAV taikomuosiuose moksliniuose darbuose. Pagal užprogramuotus atrankos kriterijus ir atitinkamai kiekvieno rastro techninę charakteristiką atliekami skaičiavimai ieškant palankių vietų iškeltiems tikslams įgyvendinti. Tokie ir panašūs tyrimų rezultatai naudojami (ar planuojami naudoti) kuriant energijos tiekimo teritorijoje ir šios teritorijos AEI potencialo išnaudojimo planus. GIS sistemos pagrindu įgyvendinti ir viešinami įgyvendinti projektai:

1. Australijos valstybinių institucijų užsakymu įgyvendintas projektas „Sustainable Victoria“ (Sustainability Victoria, Australia).
2. JAV gamtos išteklių apsaugos tarybos puslapyje pateikiama interaktyvių žemėlapių (Natural Resources Defense Council, New York), kuriuose įvairiais sluoksniais pateikiama informacija apie galimybę panaudoti atsinaujinančią energiją ir drauge apie saugomus gamtos išteklius.
3. JAV nacionalinė atsinaujinančiosios energijos laboratorija (National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy) sukaupusi virš 1000 interaktyvių viso pasaulio žemėlapių, kuriuose pateikiama informacija, susijusi su atsinaujinančiąja energija. Pateikiamų mažiausias rastro matmuo vėjo žemėlapių – 200 m, kitiems šaltiniams – nuo 10 km.

Minėti projektai rodo praktinę detalių žemėlapių naudą. Žemėlapiuose naudojamas informacijos detalumas yra taikytinas planuojant panaudoti miestų ar regionų AEI potencialo. Pateikiamos vidutinės atitinkamos teritorijos ar zonos disponuojamo AEI potencialo reikšmės. Turint pavienį, konkrečiame sklype esantį energijos vartotoją (sklypo statinius) su jam būdingu energijos vartojimo grafiku, sprendimų priėmimui, pastato koncepcijos formavimui tampa reikšmingi būtent to sklypo duomenys. Jais remiantis turėtų būti sprendžiamas energijos tiekimo užtikrinimas ir hibridinės (plačiąja prasme) AEI sistemos struktūra ir komponentų dydžiai.

### **1.3. Meteorologinių duomenų paruošimas ir jų tikslumas**

Meteorologiniai duomenys, kaip AEI pirminė inžinerinė išraiška, yra fiksuojami tyrimo įranga pasirinktu intervalu ir vėliau apdorojami. Viena iš pagrindinių meteorologinių duomenų ypatybių yra ta, kad jie atspindi natūralias gamtines

sąlygas, kurios paprastai sunkiai prognozuojamos, kurių didelė reikšmių kitimo amplitudė ar pasitaikančios skaitinės išskirtys. Kalbant apie AEI srityje sprendžiamus klausimus, naudojant minėtus tyrimo būdus, priemones ir metodus (pagal sprendžiamo klausimo specifiką) naudojamosi jau apdorotais meteorologiniais duomenimis. Pagrindinis šių duomenų apdorojimo uždavinys – vidutinių parametro reikšmių identifikavimas. Planavimo uždavinių srityje naudojamos ilgesnio laikotarpio, t. y. mėnesio ar metų, vidutinės reikšmės. Modeliuojant inžinerines sistemas kompiuterinėmis modeliavimo priemonėmis, yra poreikis naudoti minutės ar net sekundės (programoje TRNSYS) intervalu kintančius meteorologinius duomenis. Vis labiau akcentuojamas poreikis modeliuoti procesus ar reiškinius smulkesniu nei valandinis laiko žingsniu (Hoevenaars *et al.* 2012). Dėl to atsiranda smulkesnių nei valandos žingsnio išėities duomenų poreikis.

Dažnai AEI integracijos uždaviniai sprendžiami atsižvelgiant tik į konkrečią vietovę ar sklypą. Tačiau detalūs vietos gamtinės sąlygas apibūdinantys meteorologiniai duomenys retai kada kaupiami. Pirmiausia taip yra dėl riboto meteorologinių stočių skaičiaus mieste, valstybėje ar regione. Tobulėjant technologijoms ir plečiantis duomenų dalijimosi ir kaupimo tinklui randasi duomenų bazių, iš kurių nuotoliniu būdu galima gauti daugelio pasaulio vietų meteorologinius duomenis (Sorrentino *et al.* 2012). Plačiai taikomas interpoliacijos metodas (Meteotest 2013) leidžia gauti apytikslius bet kurios pasaulio vietovės taško meteorologinius duomenis. Nuo reljefo specifikos ir artimiausių stočių atstumo priklauso tai, ar generuojami duomenys atitinka vietos sąlygas, ar pateikiamas klaidingas duomenų masyvas. Vis plačiau taikomas bet kurios vietovės duomenų generavimas apdorojant palydovinę informaciją (Angelis-Dimakis *et al.*). Kadangi palydovinė informacija apima viso žemės paviršiaus plotą, tai galima sugeneruoti reikalingus vienodo detalumo ir patikimumo meteorologinius duomenis ir pagrįstai palyginti alternatyvias AEI integracijos vietas ar sprendimus.

Kaupiami meteorologiniai duomenys atspindi gamtinių sąlygų kitimo istoriją, tačiau, kaip žinoma, gamta yra dinamiška sistema ir metai po metų vietos gamtinės sąlygos nežymiai, tačiau kinta. Pvz., Lietuvoje vidutinė metinė temperatūra per pastaruosius 30 metų tik kilo (Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos Lietuvos klimato kaitos apžvalga). Didžioji dalis uždavinių yra sprendžiama su perspektyviniais tikslais, siekiant patenkinti būsimą energijos vartojimo poreikį. Todėl dėl gamtinių sąlygų būsimos kaitos arba jos tikslaus nežinojimo kyla poreikis taikyti tikimybinis parametrų nustatymo metodus atsižvelgiant į praeityje sukauptus duomenis ir jų kitimo tendencijas. Lyginant vieną laikotarpį su kitu pasitaiko ryškesnių požymių, todėl tikimybinis gamtinių sąlygų galimo kitimo ateityje įvertinimas yra aktualus ir plačiai taikomas, ypač vėjo energijos naudojimo srityje (Foley *et al.* 2012).

Dėl savo dinamikos meteorologiniai duomenys, naudojami sprendžiant AEI uždavinius, apima ne trumpesnę kaip pastarųjų 10-ties metų laikotarpį. Taip siekiama, kad išeities duomenys atitiktų vyraujančias gamtines sąlygas. Tačiau ilgamečių duomenų panaudojimas sprendžiant AEI uždavinius, jei kalbėtume apie paros ar valandinį duomenų laiko žingsnį, yra problemiškas. Į šią nuolat kintančių gamtinių sąlygų ypatybę atsižvelgiama sukuriant vadinamuosius bandomuosius atskaitinius metus (angl. *Test Reference Years*), tipinius meteorologinius metus (angl. *Typical Meteorological Year*) ar energijos įvertinimo klimatinis metus (angl. *Weather Year for Energy Calculation*) (Lee *et al.* 2010), apimančius vieno metų laikotarpį. Šie duomenys gaunami statistiškai apdorojant matavimais sukauptus meteorologinius duomenis, kad rezultatas atspindėtų bendrą gamtinių sąlygų vaizdą (Skeiker *et al.* 2009). Taigi, be interpoliacijos metodu sukuriamų nukrypimų nuo faktinės vietovės situacijos, atsiranda papildomas statistinio apdorojimo sukuriamas natūralių gamtinių sąlygų svyravimų išlyginimas, t. y. vidutinių reikšmių nustatymas.

Siekiant išsiaiškinti galimą vidutinių reikšmių nustatymo įtaką galutiniam meteorologinių duomenų masyvui turi būti atliktas papildomas statistinis meteorologinių duomenų apdorojimas. Nurodomos papildomos statistinės gamtos reiškinių charakteristikos turėtų padėti priimti pirminius AEI planavimo ir AEI integracijos koncepcinius sprendimus.

AEI potencialo nagrinėjimas yra pagrįstas meteorologinių duomenų naudojimu. Turint tarptautinių meteorologinių duomenų bazių informaciją, atliekami tolesni šios informacijos apdorojimo veiksmai. Pirmiausia įvertinamos vietos sąlygas, vėliau matematinėmis formulėmis su tiesine priklausomybe nustatomos AEI energijos srautų charakteristikos. Naudojamų meteorologinių duomenų tikslumas nekeičiamas nuo jų sugeneravimo momento. Kaip matyti iš atliktų tyrimų (Budig *et al.* 2010; Remund 2011), meteorologinių duomenų tikslumas yra ribotas, priklausantis nuo konkrečios situacijos ir naudojamų duomenų bazių. Kaip parodė (Budig *et al.* 2010) aprašytas tyrimas, naudojant skirtingas duomenų bazines, tos pačios vietovės suminis spinduliuotės kiekis į horizontalų paviršių skyrėsi iki 30 %, standartinis vidutinės reikšmės nuokrypis siekė 11 %. Tyrimo autorių teigimu, nėra aišku, kuri duomenų bazė pateikia „tikrus“ duomenis, tačiau rekomenduojama naudoti į taikymo sritį orientuotas duomenų bazines, pvz., skirtas derliaus prognozėms. Taip pat rekomenduojama naudoti svertinius duomenų nustatymo būdus ir modeliuoti situacijas nurodant intervalų galimą kitimo diapazoną. Šiame darbe yra naudojama duomenų bazė „Meteonorm“. Kaip teigiama (Remund 2011), atlikus metinių vidurkių ir valandinio duomenų išsibarstymo palyginimą su išmatuotomis reikšmėmis, daroma išvada, kad metiniai vidurkiai programoje „Meteonorm“ yra pateikiami tiksliai. Taikant interpoliacijos metodą nustatytas bendros spinduliuotės duomenų tikslumas buvo lygus 7 %. Valandinio duomenų išsibarstymo atveju

programa „Meteonorm“ sugeneruoti duomenys skyrėsi nuo išmatuotųjų. Nustatyti maži temperatūros nuokrypiai (pasauliniu mastu –  $1,4^{\circ}\text{C}$ ), tačiau tiesioginės spinduliuotės ir drėgno termometro temperatūros nuokrypiai didesni (pasauliniu mastu –  $7,2\%$  ir  $2,1^{\circ}\text{C}$ ).

Šioje disertacijoje nustatomos AEI energijos srautų vertės yra tokio pat tikslumo, kaip ir programa METEONORM sugeneruoti duomenys.

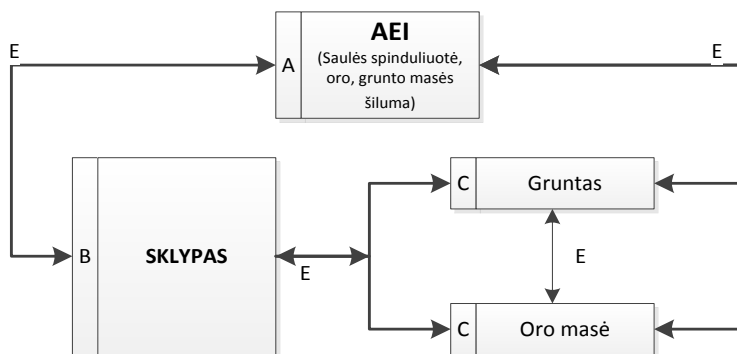
## 1.4. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių struktūra

Atsinaujinančiosios energijos ištekliai – natūralioje gamtoje egzistuojantys energijos srautai, kuriuos žmogus geba panaudoti savo poreikiams, kurie dėl šių energijos srautų natūralaus cikliškumo ir masto laikomi nesibaigiančiais ir atsinaujinančiais ir kurių atsinaujinimo priežastys ir kiekiui žmogus savo energijos vartojimu įtakos nedaro. AEI pasižymi:

1. Sezoniniais didelės amplitudės verčių pokyčiais.
2. Varijuojančiu tarp skirtingų energijos formų atsinaujinimo periodu.
3. Skirtinga verčių svyravimo amplitudė paros, mėnesio laikotarpiu.
4. Nuo vietovės priklausančiu būdingu AEI srautų kompleksu.

Atsižvelgiant į minėtas AEI savybes, siauresniu, pavienio sklypo mastu visos AEI formos negali būti nagrinėjamos. Energetikos požiūriu sklypo ir jame vykstančių gamtos reiškinių, įprastai apibūdinamų meteorologinių charakteristikų kitimu ir vadinamų AEI, visumą galima pavadinti dinamine sistema. Sisteminės analizės požiūriu, vadovaujantis K. Bouldingo bendrąja sistemų klasifikacija, sklypo sistemą galima priskirti prie atviros, prisiderinančiosios sistemos. Pastatų energetikos srityje plačiai taikoma sisteminė analizė (Biekša 2008). Laikantis įprasto sisteminės analizės nuoseklumo pagrindine sklypo ir AEI sistemos tikslo funkcija galima laikyti poveikį negyvosioms ir gyvosioms sudėtinėms sklypo dalims. Sistemos pagrindinių komponentų hierarchinė struktūra pateikta 1.1 paveiksle.

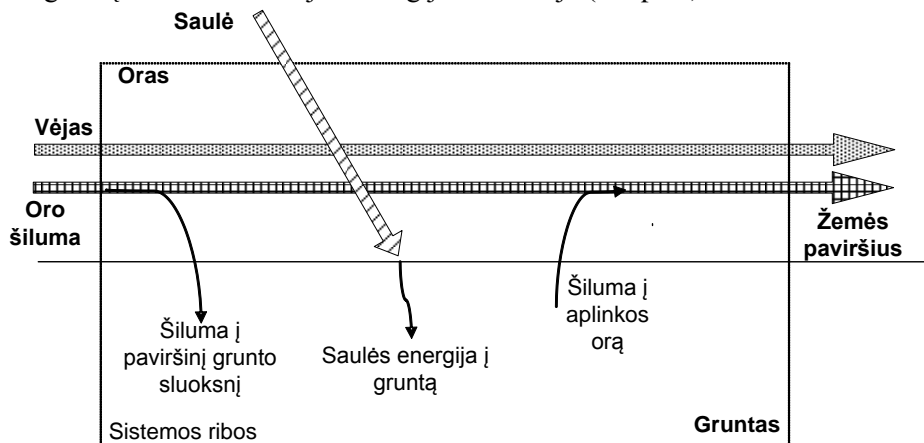
Sklype pasireiškiantis aplinkos poveikis yra suprantamas kaip AEI egzistavimas konkrečiu laiko momentu. AEI (A sistemos elemento rangas) veikia sklypą – siunčia saulės spindulių energiją, oro masę (kartu ir materiją) ir su krituliais ar drėgme į sklypą atneša vandens. Sklypo posistemėi (B sistemos elemento rangas) suteiktas aplinkos poveikis yra padalijamas C posistemės elemento rangą turintiems sistemos elementams. Savo ruožtu posistemės C elementai patiria tiesioginį spindulinį ar temperatūrinį poveikį.



**1.1 pav.** Sklypo ir atsinaujinančių energijos išteklių sistemos hierarchinė struktūra su pagrindiniais sistemos komponentais

**Fig. 1.1.** Hierarchical structure of site and renewable energy sources system with the main system components

Taip sistemoje vyksta prisitaikymas prie nuolat kintančių aplinkos sąlygų, o drauge ir prie AEI. Kadangi sistema dinaminė, tai priklausomai nuo AEI būklės konkrečiu laiko momentu, į aplinką yra išspinduliuojama pakitusių savybių spindulinė energija, šiluma (į aplinkos orą) ar perduodamas vanduo (gruntinio vandens ar drėgmės pavidalu). Posistemės C elementai tarpusavyje nuolat ir tiesiogiai sąveikaudami dalijasi energija ir materija (1.2 pav.).



**1.2 pav.** Sklypo tipiniai atsinaujinantieji energijos ištekliai ir perduodami energijos srautai

**Fig. 1.2.** Typical renewable energy sources of site and transmitted energy flows

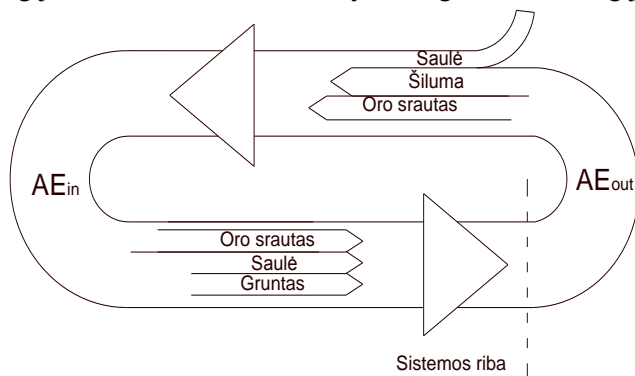
Laikantis nuostatos, kad analizuojant sklypo plėtros galimybes tikslinga įvertinti visas vyraujančias AEI technologijas, turi būti įvertinami šie sklypą pasiekiantys AEI srautai:

1. Saulės šviesos spindulinė energija.
2. Judančios oro masės (vėjo) kinetinė energija.
3. Oro masės šiluma.
4. Grunto šiluma.

Viena iš populiariausių AEI formų biomasė šiame darbe nevertinama visų pirma dėl to, kad jos atsinaujinimo ciklas, palyginti su nagrinėjamaisiais srautais, labai didelis. Be to, pavieniame sklype iš biomasės galimas išgauti energijos kiekis yra sąlyginai nedidelis ar gali būti laikomas nereikšmingu. Taip pat žinoma, kad ilgųjų bangų spinduliuotės srautas, krituliai, konvekcinis šilumos srautas ties grunto paviršiumi ir garavimas gali būti irgi vertinami kaip atsinaujinantieji energijos srautai. Įvertinant perspektyvinę tikslą kiekvienam srautui numatyti daugumai prieinamą AEI technologiją, pastarieji energijos srautai šiame darbe yra nevertinami.

Tipiniai pagrindiniai sklypo AEI srautai pavaizduoti 1.3 paveiksle. Ši schema neapima visų prie AEI priskiriamų energijos šaltinių, tokių kaip geoterminis vanduo, potvyniai ir atoslūgiai ar tekantis vanduo. Schema atvaizduoja labiau žemyninėje dalyje vykstančio tipinio AEI srauto atsinaujinimą.

Kitas svarbus akcentas, kad žmonių gyvenamose vietose AEI sudėtis ir energijos formos yra nevienodos: pajūryje vyrauja vėjo energija, sausumoje – saulės. Prie didelių vandens telkinių (jūrų, vandenynų) naudojama potvynių ir atoslūgių energija, o kalnuotose vietovėse yra daugiau hidroenergijos.



**1.3 pav.** Sklypo atsinaujinančių energijos išteklių cikliškumas ir energijos srautai: krituliai, saulė, oro srautas, augmenija ir gruntas

**Fig. 1.3.** Renewable energy sources cyclical nature and energy flows of site: rain, sun, air flow, vegetation and ground

Istoriškai susiklostė, kad populiariausios ir technologiškai lengviausiai įsisavinamos yra saulės šviesos, oro masės judėjimo, biomasės ir grunto AEI formos. Kiekvienos formos fizikinė prigimtis yra skirtinga: saulės šviesos energija yra spindulinė, oro masės judėjimo, arba vėjo, energija yra kinetinė judesio energija, grunto energija – šiluma, biomasės – cheminis virsmas. AEI srautą tikslinga padalyti į dvi dalis – aktyvias ir pasyvias atsinaujinančiosios energijos formas. Aktyvios formos – tai laiko atžvilgiu intensyviai vykstantys energijos sklaidai: saulės spindulinė, vėjo ir vandens kinetinė, geoterminės šilumos perdavimas ir pan. Šios formos pasižymi tiesioginiu aktyviu poveikiu AEI technologijoms. Pasyvi atsinaujinančiosios energijos forma – viena iš populiariausių ir gerai žinomų atsinaujinančiosios energijos formų – yra biomasės cheminio virsmo energija (cheminis potencialas).

Vertinant pastato ir jame vykdomos ūkinės veiklos šviesos, šilumos ir vėsos poreikių perspektyvą, AEI skaidymą tikslinga praplėsti ir minėtus tipinius AEI srautus papildyti dar viena AEI forma – šilumine oro srauto energija. Dėl savo specifikos kiekviena energijos rūšies technologijos kardinaliai skiriasi. Kuriamos ir analizuojamos hibridinės AEI sistemos (Bajpai *et al.* 2012; Luna-Rubio *et al.* 2012) paprastai siejamos su elektros energijos generavimu. Hibridinių AEI technologijų srityje populiarėja šilumos siurblių technologijos oro šiluminės energijos srautui panaudoti (Pardo *et al.* 2010; Nama *et al.* 2010; Karagiorgas *et al.* 2010). Kadangi vėjo jėgainės skiriamos vėjo energijai įsisavinti, saulės kolektoriai – saulės energijai, gruntiniai šilumos siurbliai – geoterminei energijai, o oriniai šilumos siurbliai – oro šiluminai išgauti, šiame darbe oras taip pat laikomas atskiru AEI. Plačiai žinoma (Artmann *et al.* 2007; Al-Sallal *et al.* 2012) „laisvojo vėsinimo“ (angl. *Free cooling*) ar „pasyvaus vėsinimo“ (angl. *Passive cooling*) sistema atskleidžia oro srauto, kaip AEI, šiuo atveju – vėsos, prasmę. Nors, jei kalbama apie pasyvų saulės energijos naudojimą (Chan *et al.* 2010), oro masės srautas tampa lokaliu srautu, pernešančiu šilumą termodinaminėje sistemoje, todėl šiame kontekste energijos šaltiniu jį laikyti sudėtinga.

Kai reikia įvertinti pavienį sklypą ir jame planuojamo perspektyvinio energijos vartotojo poreikius, bendrinis AEI formų kompleksas yra neparankus ir jį būtina adaptuoti.

## 1.5. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių įvertinimas

Atsinaujinančiosios energijos potencialui nustatyti taikomos įvairios priemonės ir metodai (Angelis-Dimakis *et al.* 2011). Pagrindinis vertinimo principas yra tai, kad potencialas gali būti nustatytas skirtingais lygiais: teoriniu, techniniu ir tikslingumu. Teorinis potencialas suprantamas kaip gamtoje egzistuojantis



atitinkamos rūšies energijos kiekis; techninis potencialas – dėl žmogaus veiklos, efektyvumo, pasiekiamumo ir kitų įtakos faktorių pakitęs pirminio energijos kiekio potencialas; tikslingumo naudoti potencialas – energijos kiekis, kurį ekonomiškai naudinga panaudoti. Potencialo panaudojimas suprantamas ir kaip pasyvių, ir kaip aktyvių AEI technologijų taikymas transformuojant gamtoje egzistuojančius energijos srautus į vartotojui reikalingas energijos formas: šilumą / vėšą, elektrą ir t. t. Atliekamas kiekybinis (energetinis) AEI vertinimas ir kokybinis (ekserginis) (Koroneos *et al.* 2003; Remund 2011; Hepbasli 2008; Wall *et al.* 2001; Hermann 2006) vertinimas.

Teoriniame AEI įvertinimo etape svarbiausią vietą užima meteorologinė informacija. Ji gaunama iš regione esančių meteorologinius stebėjimus vykdančių organizacijų ar tarptautinių duomenų bazių, faktinių matavimų. Pagal svarbą nustatant AEI potencialą reikalingus įvesties duomenis galima suskirstyti į kelias grupes:

1. Bendri meteorologiniai duomenys.
2. Kryptiniai duomenys pagal AEI formą.
3. Duomenys apie sklypo fizines savybes.

Siekiant įvertinti sklypo AEI potencialą, būtina naudoti kuo tikslesnius, arčiau nagrinėjamos vietovės esančius įvesties duomenis.

Long Shi *et al.* savo darbe (Shi *et al.* 2012) pristato aktualią AEI panaudojimo ir pastatų projektavimo praktiką, kur, kaip teigia autorius, daugiausia dėmesio skiriama pasyvioms AEI naudojimo galimybėms, išvengiant energijos transformatorių. Keliamas pirminis tikslas pastatą pasiekusią energiją arba tiesiogiai panaudoti, arba išvengti pasiekusios energijos tais atvejais, kada jos nereikia. AEI potencialo nustatymas ir juo labiau jo panaudojimas tiesiogiai susijęs su energijos akumuliacijos reiškiniais. Pastarieji gali būti sukurti žmogaus arba natūraliai egzistuoti gamtoje (Doreen *et al.* 2011). Dėl natūralaus energijos akumuliacijos reiškinio gamtoje atsiranda poreikis kalbėti ir apie paviršiniame grunto sluoksnyje sukauptą saulės šilumos energiją. Be kita ko, svarbios ir pastato konstrukcijų akumuliacinės galimybės. Taip pasyviomis priemonėmis galima patenkinti dalį energijos poreikių ir sumažinti AEI chaotiškumą. Kaip teigiama Greggo Maryniako 2012 straipsnyje, siekiant, kad AEI energijos tiekimo sistemoje užimtų lyderio pozicijas dažnai trūksta pagrindinio elemento – tinkamai išspręsto energijos akumuliacijos klausimo. Dėl AEI rūšių individualios specifikos praktiškai kiekvieną kartą vertinant energijos srautą taikomi skirtingi metodai ar būdai. Atsižvelgiant į (Angelis-Dimakis *et al.* 2011) apžvalgą, toliau pateikiami esminiai AEI pagrindinių srautų potencialo nustatymo principai.

Saulės energijos potencialas pirmiausia gali būti nustatytas atliekant faktinius matavimus (1) meteorologinėse stotyse, (2) naudojant palydovinę

informaciją ir (3) meteorologinių stočių pateikiamą informaciją papildant iš palydovų gauta informacija (populiariausias būdas). Technines galimybes panaudoti saulės energiją įprastai lemia geografiniai apribojimai ir aplinkos temperatūra. Kalbant apie pavienį vartotoją, didelę įtaką gali turėti greta esantys statiniai, t. y. jų šešėlis. Atsižvelgiant į vietos sąlygas ir panaudojant įrenginius fiksuojamus energijos srautus gaunami galutiniai saulės energijos potencialo skaičiai. Įvertinant tai, kad saulės energiją absorbuojantys įrenginiai dažniausiai būna stacionarūs, nukreipti įvairiais, ne visada palankiausiaisiais kampais, tai saulės energijos potencialui nustatyti gali būti taikomi spindulinio energijos perdavimo dėsniai.

Vėjo energijos potencialas pirmiausia gali būti nustatytas atliekant faktinius vėjo charakteristikų matavimus arba taikant statistikos ir interpoliacijos metodus –reikalingos charakteristikos sugeneruojamos pagal arčiausiai atliktų matavimo taškų duomenis. Vėjo potencialui nustatyti taip pat naudojama palydovų surinkta informacija ar parengti vėjų atlasai. Siekiant nustatyti detalesnius vėjo srauto pokyčius turi būti atliktas oro srauto kompiuterinis modeliavimas. Kaip ir saulės, taip ir vėjo energijos panaudojimui didelę įtaką turi konkrečios vietos geografinės ypatybės, arti nagrinėjamo taško esantys žmogaus sukurti objektai ar žemės ploto apstatymas aukštesniais objektais. Apytiksliai konkrečios vietovės oro srauto potencialui nustatyti, įvertinant apsupties sąlygas, aukščio pokyčius, gali būti taikomos kinetinės energijos nustatymo formulės.

Geoterminės energijos potencialą sudaro dvi pagrindinės sudedamosios – gilioji geotermija, kai energija gaunama iš žemės gelmėse vykstančių branduolinių reakcijų, ir paviršinė geotermija, kurios energija sukaupiama iš žemės paviršiuje vykstančių šiluminių mainų. Geoterminė energija pateikiama kaip šilumos srautas atliktų faktinių matavimų pagrindu. Skaičiuojant giliosios geoterminės grunto sluoksnio šilumos srauto reikšmę gali būti paimta iš sudarytų energijos srauto žemėlapių. Siekiant įvertinti vietos sąlygas atliekami geologiniai ir hidrogeologiniai nagrinėjamo grunto sluoksnio tyrimai – jie suteikia reikalingos informacijos apie grunto ir gruntinio vandens savybes. Geoterminis šiluminis potencialas nustatomas įvertinant geologinės medžiagos (kietosios, skystosios, dujinės) entalpiją ir paviršinio sluoksnio šilumos mainų reiškinius.

Siekiant kompleksiškai įvertinti disponuojamą atsinaujinančiosios energijos potencialą, kaip rodo atliktos apžvalgos (Liao *et al.* 2012; Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems), priimant sprendimus tikslinga taikyti termodinaminės analizės principus. Termodinaminė analizė taikoma nuo smulkiausių ekosistemos, žmogaus veiklos elementų pažinimo iki globalių sistemų aprašymo ir įvertinimo. Pagrindiniai taikytini termodinaminės analizės būdai: energinis, kaip kiekybinis įvertinimas panaudojant pirmąjį termodinamikos dėsni, ir jį papildantys entropinis ir ekserginis vertinimo būdai,

kaip energijos kokybinis vertinimas atsižvelgiant į antrąją termodinamikos dėsnį. Vis dažniau taikomas ekserginės analizės būdas, kuris išplėtotas iki sistemų gyvavimo ciklo emerginės analizės būdo. Kompleksinio požiūrio būtinumą pabrėžia ir tai, kad AEI rūšys gamtoje yra susijusios ir neracionalus vienos ar kitos energijos rūšies panaudojimas gali sukurti ilgalaikį neigiamą poveikį žmogaus gyvenamajai aplinkai ar natūraliems biologiniams procesams. Kompleksiškumo poreikį iliustruoja T. Helene Ystanes Foyn ir kt. darbas (Ystanes *et al.* 2011). Straipsnio autoriai teigia, kad siekiant pereiti prie 100 % energijos vartojimo iš atsinaujinančiųjų energijos šaltinių 2050 metais pasaulyje bus pasiektas geoterminės energijos potencialo limitas, o hidro-energijos ir biomasės potencialas pasieks atitinkamai 75 % ir 90 % ribą. Didesnis neišnaudotas potencialas numatomas tik vėjo ir saulės. Tai puikiai parodo, kad disponuojamos energijos potencialas, tikslus jo nustatymas yra ir bus vis aktualesnis tiek vietos, tiek regiono, tiek pasauliniu mastu.

Nuosekliai sprendžiant sklypo AEI potencialo įvertinimo uždavinį, reikėtų pradėti nuo kiekybinio įvertinimo. Atlikus kompleksinį AEI srautų kiekybinį įvertinimą gali būti sukurta išeities charakteristikų rinkmena, kuri leis vėlesnėse uždavinio sprendimo stadijose pasiekti didesnę AEI integracijos lygį.

## 1.6. Statistinis atsinaujinančių energijos išteklių charakteristikų įvertinimas

Naujausi pavyzdžiai (Demirhan *et al.* 2013; Muratori *et al.* 2013) rodo, kad statistikos metodas yra plačiai taikomas. Didesnių duomenų masyvams vertinti ir duomenims palyginti naudojama statistinė analizė, visų pirma aprašomosios statistikos metodas. Parankiausios statistinės charakteristikos yra kintamųjų reikšmių dažniai, duomenų padėties (vidurkis, mediana) ir duomenų sklaidos (standartinis nuokrypis, dispersija, kvartilai) charakteristikos.

Modeliuojant naudojamas techninis AEI potencialas įprastai išreiškiamas vidutinėmis srauto reikšmėmis, pvz., saulės energija išreiškiama vidutinių energijos srautu į apšviečiamo paviršiaus kvadratinį metrą, vėjo energija – vyraujančiais vėjo greičiais (m/s) ir pan. Vidutinėms reikšmėms suskaičiuoti naudojamos meteorologinių stočių duomenų bazės. Atliekant faktinius matavimus, meteorologinė įranga su duomenų kaupikliais programiškai nustatyto laiko intervalu pateikia aritmetinius pasirinkto laikotarpio vidurkius. Siekiant didesnio AEI panaudojimo, turi būti įvertinta chaotiška AEI srauto metų, mėnesio, paros ir valandos dinamika. Tikslinga nustatyti AEI sraute pasitaikančias netipinius gamtinius reiškinius atspindinčias vertes. Šios vertės iškreipia vyraujančių reiškinių charakteristikas ir taip apsunkina racionalesnį AEI technologijų parinkimą. Būtina daugiau pažinti disponuojamą AEI

potencialą ir tam tikslinga taikyti statistinę disponuojamo AEI srauto verčių analizę. Analizė leidžia modeliuoti empirinius skirstinius ir pateikti grafikų, lentelių ir pavienių skaitmeninių rodiklių forma.

Atliekant statistinę analizę AEI potencialui įvertinti tikslinga naudoti toliau nurodomas statistines charakteristikas:

1. Imties vidurkis.
2. Mediana.
3. Kvartiliai.
4. Dispersija.

Imties vidurkis turi du trūkumus: jis nenusako duomenų padėties, jei imtis yra bimodalinė („dvikuprė“) arba turi išskirčių (ekstremalių reikšmių). AEI atveju tiek saulė, tiek vėjas ar oro šilumos srautas pasižymi chaotišku kitimu. Dažnai pasitaiko itin nebūdingos srautui ekstremalios reikšmės, kurių įtaka turi būti minimizuota. Tam tikslui tikslinga naudoti kitą statistinę charakteristiką – medianą.

Mediana geriau nei vidurkis atskleidžia duomenų padėtį eilutėje, kurioje yra išskirčių. Mediana yra vidurinė variacinės eilutės reikšmė. Kitaip sakant, lygiai pusės stebėjimų duomenų reikšmės yra mažesnės už medianą, o kitos pusės – didesnės.

Kvartiliai – charakteristika, variacinę eilutę padalijanti į ketvirčius. Pirmasis ir trečiasis kvartiliai tampa vyraujančių „mažųjų“ ir „didžiųjų“ imties kintamųjų medianomis. Šios charakteristikos gali būti naudingos modeliuojant AEI hibridines technologijas. Pvz., jei taikomasi į nedidelės galios nuolatinis vyraujančius gamtos reiškinius ar rečiau pasitaikančius, bet didesnės galios energijos šuolius, tada galima orientuotis į įrenginių galias, kurios artimos pirmojo ir trečiojo kvartilio reikšmėms.

Siekiant pažinti imties kintamųjų išsibastymą tikslinga nustatyti dispersiją. Dispersija parodo vidutinį atstumą tarp visų variacinės eilutės stebėjimo duomenų ir vidurkio. Kad būtų lengviau interpretuoti duomenų sklaidą nustatomas ir standartinis nuokrypis, t. y. dispersijos kvadratinė šaknis. Išsibastymo dydis charakterizuoja AEI technologijos galimą veikimo parametru diapazoną.

## **1.7. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių technologijų atranka**

Sprendžiant AEI technologijų panaudojimo optimizavimo uždavinius pirminėje planavimo stadijoje paprastai gaunami ir sprendžiant uždavinius naudojami techniniai duomenys:

1. Energijos efektyvumas – technologijos gebėjimas maksimaliai įsisavinti disponuojamą energiją.
2. Ekserginis efektyvumas – technologijos gebėjimas sukurti kuo mažiau entropijos.
3. Pirminės energijos santykis – pirminės iškastinio kuro ir atsinaujinančiosios energijos santykis.
4. Ekonominiai kriterijai.
5. Žemės ploto panaudojimo kriterijus – vienas iš aplinkosauginių kriterijų.

Rečiau naudojamą žemės ploto panaudojimo kriterijų racionalu naudoti dėl AEI įrenginių užimamos sklypo / erdvės vietos įvertinimo. Kiekviena technologija sukuriant tą patį produktą – energetinę paslaugą, užima skirtingą sklypo / erdvės dalį.

Vieno ar kelių izoliuotų (ar iš dalies sujungtų į tinklą) vartotojų energijos generavimo ir paskirstymo mikrotinklui sukurti ir planuoti taikomos įvairios kompiuterinės modeliavimo programos (Connolly *et al.* 2010). Mendes ir kt. atliktas tyrimas (Mendes *et al.* 2011) rodo, kad dauguma planavimo įrankių optimizuojant sprendinius siekiama ekonominio efektyvumo. Programa H<sub>2</sub>RES modeliuojama maksimali AEI integracija. Dauguma programų yra tinkamos didesnių bendruomenių poreikių užtikrinimui planuoti, tačiau programa H<sub>2</sub>RES galima analizuoti ir mažos apimties AEI panaudojimo projektus. Luna-Rubio ir kt. tyrime (Luna-Rubio *et al.* 2012) nurodyti populiariausi elektros generavimo hibridinių sistemų optimizavimo metodai: tikimybiniai (angl. *probabilistic methods*), analitiniai (angl. *analytical methods*), sąveikieji (angl. *interactive methods*), pvz., genetinio algoritmo (angl. *genetic algoritim*), dalelių srauto, ir hibridiniai metodai (angl. *hybrid methods*). Minėtame tyrime (Luna-Rubio *et al.* 2012) aprašomi tokie hibridinių sistemų optimizavimo rodikliai:

1. Energijos tiekimo pertrūkio tikimybė (angl. *loss of power supply probability*, LPSP).
2. Energijos kaina.
3. Autonomijos lygis (angl. *level of autonomy*, LA).
4. Energijos tiekimo perviršio tikimybė (angl. *expected energy not supplied*).
5. Ekonominiai rodikliai.

Optimizuojant hibridines sistemas, AEI potencialas yra vertinamas jau suformuoto technologinio sprendinio pagrindu. Energijos tiekimo pertrūkio tikimybė ir autonomijos lygis yra rodikliai, kuriais netiesiogiai galima įvertinti AEI potencialo derėjimą su formuojamu poreikiu pasirinktos technologijos kontekste. Toliau pateikiama minėtų rodiklių trumpa apžvalga.

Energijos tiekimo pertrūkio tikimybė nustatoma pagal šią formulę:

$$LPSP = \frac{\sum_{t=1}^T DE(t)}{\sum_{t=1}^T P_{load}(t)\Delta t}, \quad (1.1)$$

čia  $DE(t)$  – energijos deficitcas laiko momentu  $t$ ,  $P_{load}(t)$  – energijos poreikis laiko momentu  $t$ .

Vertinant ir lyginant tik energijos deficitą su energijos poreikiu, o ne disponuojamą AEI potencialą, prarandama galimybė įvertinti atitinkamos technologijos maksimalią galimą gauti naudą. Todėl, renkantis technologiją, o ne konkretų technologinį sprendinį, toks rodiklis yra nepakankamas sprendimams priimti.

Autonomijos lygis nustatomas pagal šią formulę:

$$LA = 1 - \frac{H_{LOL}}{H_{tot}}, \quad (1.2)$$

čia  $H_{LOL}$  – valandų, kuriomis būtų tiekiamas nepakankamas kiekis energijos, skaičius;  $H_{tot}$  – sistemos veikimo valandų skaičius.

Norint nustatyti šį rodiklį, reikia turėti aiškų technologinio sprendinio veikimo scenarijų. Turint omenyje tai, kad sprendinys gali atitikti nuoseklaus lėto generavimo scenarijų ir į jį įtraukiami akumuliacinio reiškiniai, tai šis rodiklis lygintų tik konkretaus technologinio sprendinio darbo specifiką su disponuojamu AEI potencialu. Prarandama galimybė tiesiogiai palyginti energijos poreikio ir AEI potencialo derėjimą tam tikru laiku.

Pirminėje modeliavimo stadijoje minėtų rodiklių kompleksiniam sklypo energetinės situacijos įvertinimui nepakanka. Siekiant parinkti labiausiai su energijos poreikiais derančią AEI potencialo transformavimo technologiją, pirminio modeliavimo stadijoje būtina nustatyti prioritетines technologijas ar prioritетinius AEI, kurių panaudojimas būtų inžineriškai naudingiausias. Tam reikia vienodu techniniu detalumu įvertinti tiek sklypą pasiekiantį AEI potencialą, tiek ir jį galinčias panaudoti visas tipines AEI technologijas.

## 1.8. Autoriaus indėlis į nagrinėjamą tematiką

Nagrinėjant AEI disponuojamą potencialą ir jo panaudojimo galimybes gausu skirtingo detalumo techninės informacijos, kompiuterinio modeliavimo remiantis praeities ar spėjamais ateities duomenimis. Autorius daugiausia dėmesio skiria konkrečiame sklype vietos klimato sąlygomis disponuojamo atsinaujinančiosios energijos išteklių potencialo vertinimui ir šių išteklių transformatorių pirminės koncepcijos sukūrimui. Autorius siūlo pritaikyti

termodinaminės analizės principais grindžiamą kontrolinio tūrio apribotą sklypo erdvę, kurią pasiekia įtekančios atsinaujinančiosios energijos srautai. Taip suformuojamas vienodas inžinerinis pagrindas įvertinti disponuojamą AEI potencialą. Srautams įvertinti sukurtas matematinis modelis.

Remdamasis suformuota sklypo informacija autorius siūlo metodą, leidžiantį parinkti pirminę atsinaujinančiųjų energijos išteklių srautus transformuojančios sistemos koncepciją. Sistemą parinkti siūloma taikant tris rodiklius, kuriais apibūdinamas disponuojamo energijos potencialo ir formuojamo sklypo energijos poreikio santykis. Sukurtas matematinis tų rodiklių nustatymo metodas. Rodiklių skaitinių reikšmių pagrindu prioretizuojamas tiek labiausiai poreikius atitinkantis AEI, tiek ir šaltiniui transformuoti labiausiai tinkanti technologinė koncepcija. Įrenginių galiai parinkti autorius siūlo taikyti aprašomosios statistikos charakteristikas.

## **1.9. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas**

Pirmajame skyriuje apžvelgus tyrimų kryptyje taikomus metodus ir jų detalumą, paaiškėjo, kad:

1. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialas nustatomas skirtingu laiko žingsniu arba nevienodu žemės ploto masteliu. Priklausomai nuo atsinaujinančiuosius energijos išteklius naudojančios technologijos, greta pateikiamos kitos techninės ir energinės charakteristikos. Sklypo energinis potencialas vertinamas jį skaidant į išteklių formas ir pateikiant suminius metinius rodiklius. Duomenys apie atskiros sklypo energinę būklę nagrinėjami naudojant didelės teritorijos bendruosius energijos rodiklius. Detaliau situacija nagrinėjama jau pasirinkus konkrečią technologiją ir detaliai modeliuojant jos darbo sąlygas bei rezultatą. Nėra inžineriškai pagrįsto metodo, kuris įvertinus vietos sąlygas leistų nustatyti sklype esantį bendrąjį atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialą.
2. Modeliuojant dinامينius energijos sklype pokyčius per mažai skiriama dėmesio chaotiškai atsinaujinančiųjų energijos išteklių reikšmių kitimo prigimčiai ir statistiniam reikšmių apdorojimui.
3. Parenkant galimą sklypo energinio išvystymo koncepciją, įprastai vadovaujamasi atskirų šaltinių bendraisiais energetiniais rodikliais ir naudojama sukaupta patirtis parenkant pirminę šaltinius galinčią panaudoti technologinę koncepciją. Trūksta inžineriškai pagrįsto metodo, kuris leistų pirminėje planavimo stadijoje kompleksiskai

įvertinti sklype esantį atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialą ir jo pagrindu suformuoti pirminę sklypo energinio išvystymo technologinę koncepciją.

Tikslinga detaliau išnagrinėti kompleksinį sklypo energinio potencialo vertinimo būdą ir įvertinti galimybes jau pirminėje planavimo stadijoje turėti inžineriškai pagrįstą atsinaujinančiuosius energijos išteklius naudojančių technologijų koncepciją. Tam reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Suformuoti sklypo energinio potencialo kompleksinio vertinimo metodą.
2. Sklypo energinį potencialą nagrinėti kaip termodinaminėje sistemoje vykstančius energijos pokyčius;
3. Įvertinti chaotiškos AEI reikšmių kitimo prigimties įtaką į galutinius sklypo energinę būseną charakterizuojančius rodiklius.
4. Sukurti AEI technologijų atrankos metodą, kurį naudojant būtų suformuota pirminė sklypo energinio išvystymo koncepcija.
5. Suformuoti sklypo AEI potencialą pristatančią ir tolesniam sklypo vystymo modeliavimui tinkamą energetinių charakteristikų rinkmeną.



---

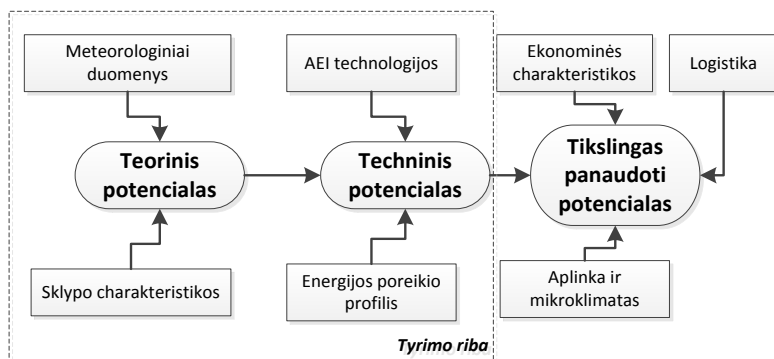
## Sklypo energinio potencialo tyrimo metodinė dalis

Šiame skyriuje pateikta medžiaga buvo publikuota straipsniuose (Žėkas *et al.* 2011; 2013a; 2013b; Martinaitis *et al.* 2013).

### 2.1. Kompleksinis sklypą pasiekiančio atsinaujinančių energijos išteklių potencialo įvertinimas

Nuosekliai vertinant AEI potencialą nustatomas teorinis ir techninis sklype disponuojamas AEI potencialas. Potencialo nustatymo eiliškumas ir pagrindiniai informacijos komponentai pateikti 2.1 paveiksle.

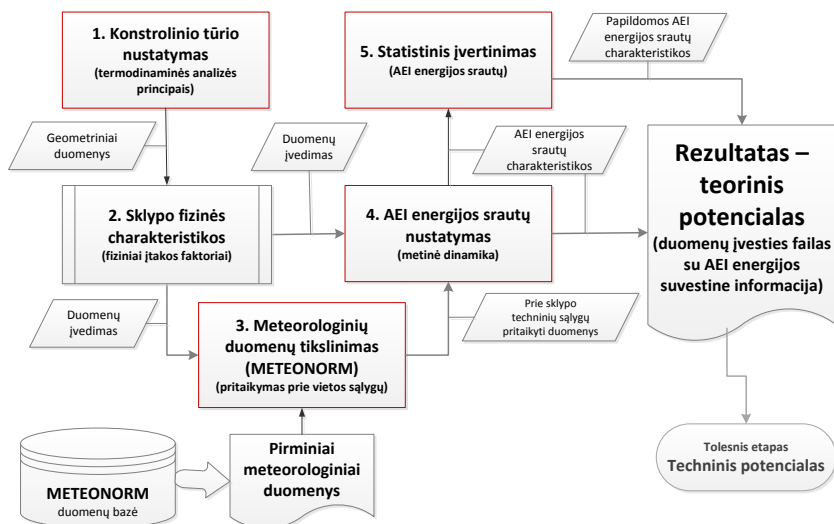
Šiame darbe pirmiausia nustatomas teorinis potencialas, kuriam svarbiausi du komponentai – sklypo techninės charakteristikos ir prie sklypo techninių sąlygų pritaikyti konkretaus sklypo meteorologiniai duomenys.



**2.1 pav.** Potencialo nustatymo eiliškumas ir pagrindiniai informacijos struktūros komponentai su pažymėtomis tyrimo ribomis

**Fig. 2.1.** Sequence of potential setting and main components of information structure with marked lines of the study

Detalesnis AEI energijos teorinio potencialo nustatymo algoritmas pateikiamas 2.2 paveiksle.



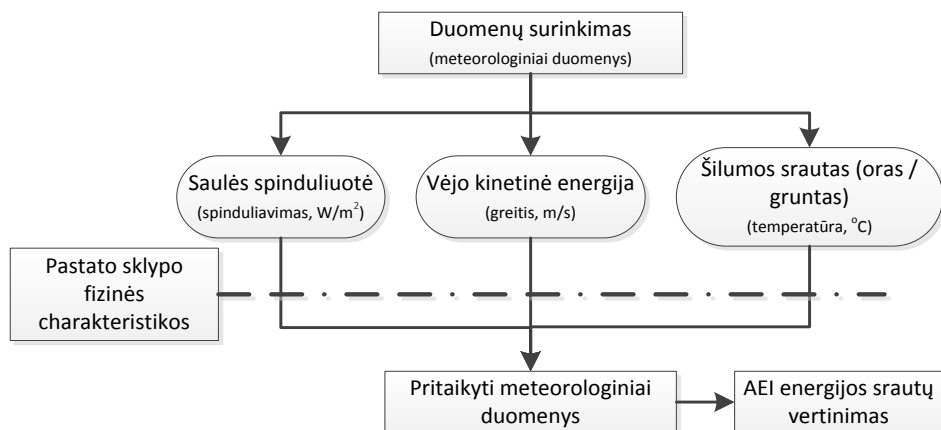
**2.2 pav.** Teorinio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo nustatymo algoritmas ir pagrindiniai etapai

**Fig. 2.2.** Algorithm and milestones of theoretical renewable energy sources potential setting

Tollesniuose skyriuose detalčiau pristatomi teorinio potencialo nustatymo etapai ir algoritmo sudėtinės dalys.

## 2.2. Meteorologinių duomenų ruošimas

Siekiant nustatyti sklypą pasiekiantį AEI potencialą, pirmiausia prie sklypo vietos sąlygų pritaikomi meteorologiniai duomenys (2.3 pav.).



**2.3 pav.** Prie sklypo vietos sąlygų pritaikomų meteorologinių duomenų struktūra

**Fig. 2.3.** Structure of meteorological data fitting to the local conditions of site

Pagal GPS koordinates iš tarptautinių duomenų bazių sugeneruojami sklypo metiniai meteorologiniai duomenys; pasirinktas reikšmių intervalas – valandinis.

Meteorologiniai duomenys apdorojami klimatologinių duomenų generavimo programa METEONORM. Programoje sklypo meteorologiniai duomenys adaptuojami įvertinus paviršiaus šiurkštumą, atspindį, bendrąjį paviršiaus pasvirimo kampą, sklypo šešėliavimą 360 laipsnių kampu.

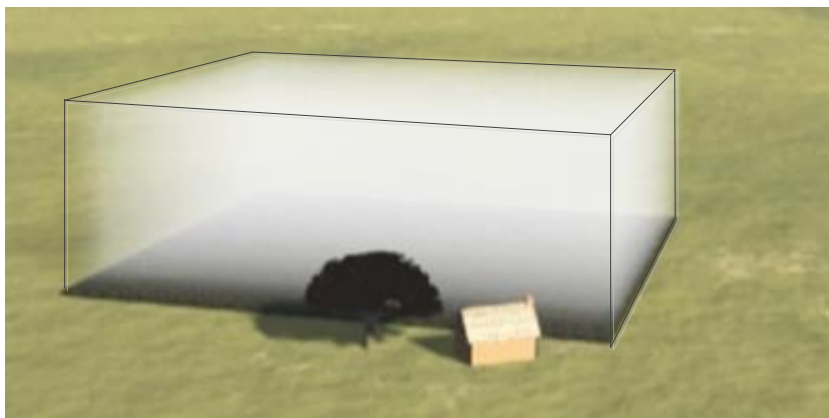
## 2.3. Sklypo kontrolinio erdvės tūrio pasirinkimas

Siekiant kompleksiskai įvertinti sklypą pasiekiantį AE srautą, būtina pasinaudoti vienu iš pagrindinių termodinaminės analizės elementų – sistemos ribų nustatymu. Nagrinėjama keletas skirtingos prigimties energijos srautų:

1. Saulės spindulių energija – energija, kuri priklausomai nuo laiko sklypo paviršių pasiekia skirtingo intensyvumo. Saulės spindulių energijos srautui įvertinti, naudojantis minėtu mažiausiu žinomu AEI žemėlapiu rastru, pasirenkami gabaritiniai sklypo matmenys 100x100 metrų.

2. Vėjo kinetinė energija – energija, kuri pasiekia sklypo erdvę virš nagrinėjamo žemės sklypo paviršiaus statmena sklypo paviršiui plokštuma. Pasirenkant plokštumos gabaritinius matmenis orientuojamasi į galimą aukštį – 50 metrų virš sklypo paviršiaus (2H dviaukščio namo), kuriame dalis meteorologinių stočių fiksuoja vėjo srauto parametrus. Pasirenkamas 50 metrų aukštis atsižvelgiant į didesnę laisvę sumontuoti vidutinės galios vėjo jėgainę;
3. Grunto šiluma – šiluma, kuri iš grunto pasiekia sklypo paviršių. Ją sudaro du komponentai: giluminių sluoksnių šiluma ir paviršiniame sluoksnyje laikinai akumuliuota šiluma. Šilumos srautams įvertinti pasirenkamas 2 metrų gylio sklypo gabaritinius matmenis atitinkantis plotas. Pasirinkimą lemia tokiam gylyje vykstantis paviršinio šilumos akumuliacijos reiškinys ir galimybė įrengti grunto šilumos siurblio horizontalųjį kolektorių ar pritaikyti kitą šilumokaitos techninį sprendinį.
4. Oro šiluma – energija, kuriai įvertinti taikomi tos pačios geometrinės erdvės ribos, kaip ir vėjo kinetinei energijai.

Geometrinės ribos ir jų pasirinkimo nuostatos apibendrinamos kontrolinio tūrio sąvoka. Sklypo kontrolinio tūrio vizualizacija pateikta 2.4 paveiksle.



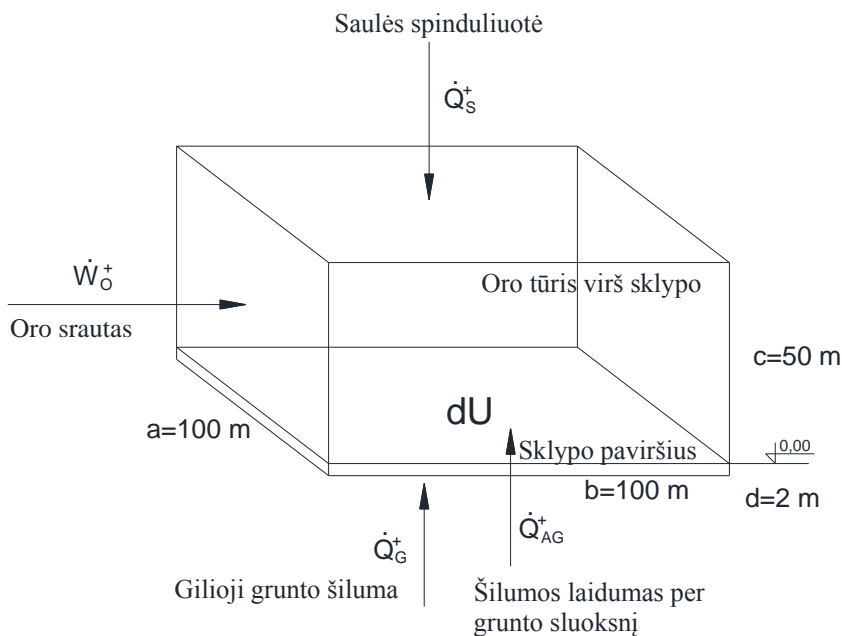
**2.4 pav.** Sklypo kontrolinio tūrio vizualizacija: rūkas virš sklypo simbolizuoja į kontrolinio tūrio ribas patenkančią oro masės tūrį

**Fig. 2.4.** Visualization of control volume of the site: the fog above the site symbolizes the air mass volume entering the control volume lines

Gali būti pasirinkti ir kitokie kontrolinio tūrio matmenys – tai priklauso nuo keliamų AEI potencialo nustatymo uždavinio tikslų.

## 2.4. Sklypo kontrolinį tūrį pasiekiančio atsinaujinančiųjų energijos išteklių srauto energinis įvertinimas

Sklypas, kaip atvira stacionariuoju režimu veikianti termodinaminė sistema, užima erdvę virš ir žemiau grunto lygio (2.5 pav.). Sistemos tūris  $V$  nekinta. Sistema apribota tik teorinėmis ribomis, supama atmosferos, kur slėgis yra  $P_0$ , temperatūra  $T_0$ . Kadangi nustatomas tik ribas kertantis energijos srautas, tai termodinaminiu požiūriu yra nustatomas sistemos vidinės energijos pokytis  $\Delta U$ .



**2.5 pav.** Kontrolinį tūrį pasiekiantys nagrinėjami atsinaujinančiųjų energijos išteklių energijos srautai

**Fig. 2.5.** Analyzed energy flows of renewable energy sources reaching the control volume

Termodinaminės sistemos ribas kerta penki energijos srautai: saulės spinduliuotės šilumos srautas  $\dot{Q}_S^+$ ; grunto giliosios šilumos srautas  $\dot{Q}_G^+$ ; paviršiniame grunto sluoksnyje akumuliuotas šilumos srautas  $\dot{Q}_{AG}^+$  ir įtekančio oro srauto virsmo energija  $\dot{W}_O^+$ .

### 2.4.1. Teorinio energijos išteklių potencialo srautų vertinimo skaičiavimo modelis

Atsižvelgiant į tai, kad nagrinėjamai termodinaminei sistemai iš aplinkos nėra perduodamas darbas, pirmąjį termodinamikos dėsni galima užrašyti taip:

$$\sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [\dot{W}_j^+] = \Delta U. \quad (2.1)$$

Arba virsmo energiją galima užrašyti kaip pilnosios entalpijos ir masės debito sandaugą:

$$\sum_i [\dot{Q}_i^+] + \sum_j [h_{czj} \dot{M}_j^+] = \Delta U, \quad (2.2)$$

čia  $\dot{M}_j^+$  – masės debitas (kg/s),  $h_{czj}$  – pilnoji entalpija prieš nagrinėjamą skerspjūvį  $j$ , J/kg.

Pilnaja entalpija  $h_{cz}$ , be tikrosios entalpijos  $h$ , įvertinama kinetinė ir potencinė energija. Ji užrašoma šia lygtimi:

$$h_{cz} = h + \frac{c^2}{2} + gZ. \quad (2.3)$$

Tada (2.2) formulę papildžius (2.3) ir ją pritaikius nagrinėjamam atvejui, gaunama:

$$dQ_S^+ + dQ_G^+ + dQ_{AG}^+ + M_O \left[ h_O + \frac{1}{2} C_O^2 \right] = dU, \quad (2.4)$$

čia  $C_O$  – sistemos ribas pasiekiančio oro srauto greitis, m/s.

Gautoji balanso lygtis (2.4) išreiškia apsibrėžtas sistemos ribas pasiekiančius energijos srautus, kurie sukuria sistemos vidinės energijos pokytį. Sklypo vidinės energijos pokytis – tai konkrečiu momentu sklype disponuojama atsinaujinančioji energija, kurią pagal technines ir finansines galimybes galima transformuoti į vartotojui pageidaujamą energetinių paslaugų formą.

#### *Šilumos energija*

Sklypą pasiekiantis šilumos srautas yra iš saulės spinduliuotės, grunto bei įtekančio oro srauto.

$$Q_{\text{šiluma}} = Q_S^+ + Q_G^+ + Q_{AG}^+ + M_O h_O. \quad (2.5)$$

#### *Saulės energija*

Saulės spindulinė šiluma apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$Q_S^+ = A \cdot q_S, \quad (2.6)$$

čia  $A$  – kontrolinio tūrio horizontalios plokštumos plotas,  $m^2$ ;  $q_s$ , – saulės spinduliuotės į horizontalų paviršių šilumos srautas,  $W/m^2$ ;

### *Grunto energija*

Iš žemės gelmių pasiekianti šiluma apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$Q_G^+ = A \cdot q_G, \quad (2.7)$$

čia  $q_G$  – iš žemės gelmių kontrolinio tūrio horizontalią plokštumą pasiekiantis šilumos srautas,  $W/m^2$ .

Paviršiniame grunto sluoksnyje (iki 10 metrų gylio) vykstančių šilumos mainų šilumos srautas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Q_c = (T_g - T_p) \lambda_g z_g, \quad (2.8)$$

čia  $T_p$  – grunto paviršiaus temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  $z_g$  – grunto sluoksnio storis,  $m$ ;  $\lambda_g$  – grunto šiluminis laidumas,  $W/(m \cdot K)$ ;  $T_g$  – grunto temperatūra ties kontrolinio tūrio riba, t. y. 2 m gylyje.

Grunto temperatūra nustatoma pagal šiauriniam pusrutuliui pritaikytą Baggso formulę:

$$T_g = (T_{p(vid)} - \Delta T_{p(vid)}) - 1,07 k_v A_s \exp(-0,00031552 x a^{-0,5}) \cos \left[ \frac{2\pi}{365} (t - t_0 + 0,018335 x a^{-0,5}) \right], \quad (2.9)$$

čia  $T_{p(vid)}$  – metinė vidutinė paviršiaus temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  $\Delta T_{p(vid)}$  – metinės ir grunto sluoksnio, kurio neveikia paviršinė temperatūra, temperatūrų skirtumas,  $^{\circ}C$ ;  $k_v$  – augmenijos įtakos koeficientas;  $A_s$  – metinė temperatūrų svyravimo amplitudė (nustatoma pagal vidutinės mėnesių reikšmes),  $^{\circ}C$ ;  $x$  – nagrinėjamo grunto sluoksnio atstumas nuo grunto paviršiaus,  $m$ ;  $a$  – vidutinis metinis grunto šilumos atidavimo koeficientas,  $m^2/s$ ;  $t$  – metų diena;  $t_0$  – oro temperatūros fazinio virsmo diena.

### *Oro šiluminė energija*

Oro srauto masės debitas:

$$M_O = a \cdot c \cdot \rho_O \cdot C, \quad (2.10)$$

čia  $a$  – sklypo plotis,  $m$ ;  $c$  – pasirinktos erdvės virš sklypo aukštis,  $m$ ;  $C$  – oro srauto greitis,  $m/s$ ,  $\rho_O$  – oro tankis,  $kg/m^3$ ;

Oro tankis nustatomas pagal šią formulę:

$$\rho_0 = \frac{353}{T_a + 273,15}, \quad (2.11)$$

čia  $T_a$  – kintanti aplinkos temperatūra, °C.

Oro srauto entalpija:

$$h = 1,006t_0 + w(2501 + 1,86t_0), \text{ kJ/kg}, \quad (2.12)$$

čia  $W$  – absoliutinė drėgmė, kg/kg<sub>so</sub>.

$$w = 0,621945 \frac{p_w}{p_0 - p_w}, \quad (2.13)$$

čia  $p_w$  – dalinis sočiųjų garų slėgis, Pa.

$$p_w = p_{ws}\phi, \quad (2.14)$$

čia  $\phi$  – santykinė oro drėgmė (dalimis);  $p_{ws}$  – soties slėgis, Pa.

Soties slėgis nustatomas dviem atvejais: kai aplinkos temperatūra yra neigiamą ir kai ji teigiama.

1 atvejis. Kai aplinkos temperatūra  $t_0 \leq 0$  °C (nuo  $-100$  iki  $0$  °C);

$$\ln p_{ws} = C_1/T + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7\ln T; \quad (2.15)$$

$$p_{ws} = e^{(C_1/T + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7\ln T)}; \quad (2.16)$$

čia  $T$  – absoliuti temperatūra (°C + 273,15);

$C_i$  koeficientai:

$$C_1 = -5,67 \cdot 10^3; C_2 = 6,39; C_3 = -9,68 \cdot 10^{-3};$$

$$C_4 = 6,22 \cdot 10^{-7}; C_5 = 2,075 \cdot 10^{-9}; C_6 = -9,48 \cdot 10^{-13};$$

$$C_7 = 4,16.$$

2 atvejis. Kai aplinkos temperatūra  $t_0 \geq 0$  °C (nuo  $0$  iki  $200$  °C);

Šiuo atveju entalpija nustatoma taip pat pagal 2.12 formulę, absoliuti drėgmė, dalinis sočiųjų garų slėgis nustatoma atitinkamai pagal 2.13 ir 2.14 formules;

Soties slėgis  $p_{ws}$  šiuo atveju nustatomas pagal šią formulę:

$$\ln p_{ws} = C_8/T + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13}\ln T \quad (2.17);$$

$$p_{ws} = e^{(C_8/T + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13}\ln T)};$$

čia  $C_i$  koeficientai:

$$C_8 = -5,80 \cdot 10^3; C_9 = 1,39; C_{10} = -4,86 \cdot 10^{-2};$$



$$C_{11} = 4,18 \cdot 10^{-5}; C_{12} = -1,45 \cdot 10^{-8}; C_6 = 6,55.$$

### *Kinetinė energija*

Į kontrolinį tūrį greičiu  $C$  įtekančio oro srauto kinetinė energija nustatoma pagal šią formulę:

$$E_k = M_O \frac{1}{2} C_O^2, \quad (2.18)$$

čia  $C_O$  – vėjo greitis iš meteorologinių duomenų bazės (m/s).

## **2.4.2. Techninio energijos išteklių potencialo srautų vertinimo skaičiavimo modelis**

Antruoju etapu teorinis AEI potencialas yra patikslinamas įvertinant AEI technologijų pagrindines energijos transformacijos charakteristikas. Kadangi technologija gali transformuoti tik dalį sklypą pasiekiančio AEI teorinio potencialo, techninis potencialas paprastai būna mažesnis už teorinį. Išimtis yra šilumos siurbiai, kurių pirminei energijos transformacijai reikalingas papildomas energijos kiekis, kuris šiame tyrime pateikiant galutinius techninio AEI potencialo rodiklius yra įskaičiuojamas.

Tollesnėje lentelėje pateikiami pagrindiniai atsinaujinančiąją energiją galintys transformuoti technologiniai sprendiniai (2.1 lentelė).

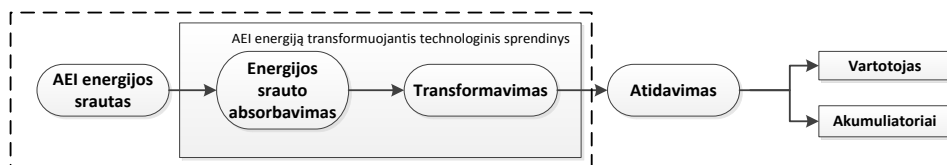
**2.1 lentelė.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių energiją galintys panaudoti technologiniai sprendiniai

**Table 2.1.** Technological solutions transforming renewable energy

Technologijos žymėjimas	Technologija (derinio komponentas)
SC	Saulės kolektoriai skysčiui šildyti (skaidrūs)
SW	Neskaidrūs saulės kolektoriai (saulės siena)
HG	Šilumos siurblys, gruntas / vanduo
HA/HW	Šilumos siurblys, oras / vanduo
AC	Adsorbcinė vėsinimo mašina
SE	Fotovoltinės baterijos
WE	Vėjo jėgainė

Vertinant techninį potencialą, technologija yra vertinama tik kaip transformuojanti AEI energiją į pastato poreikius užtikrinančią šilumą, vėsa ir elektrą. Akumuliavimo komponentas į modelį (2.6 pav.) neįtraukiamas.

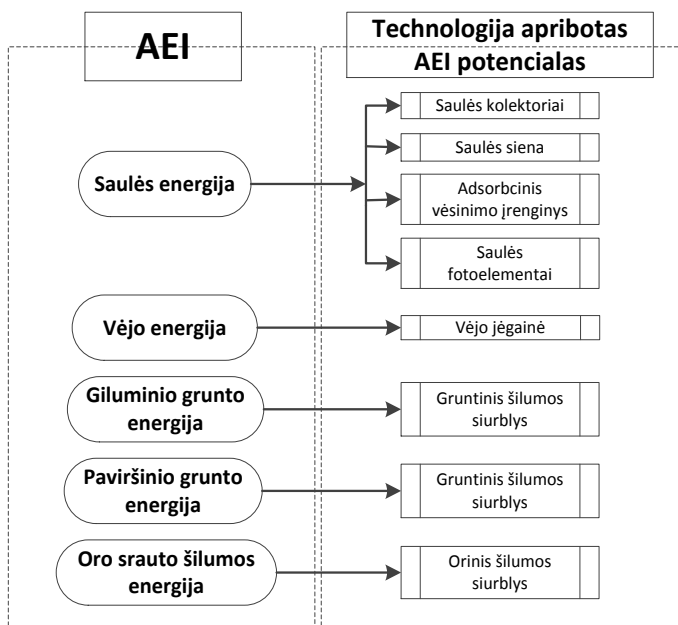
Akumuliavimas, kaip ir transformuotos energijos panaudojimo strategijos formavimas, antriniu techninio potencialo panaudojimo etapu.



**2.6 pav.** Darbe nagrinėjamo technologinio sprendinio ribos (punktyrinė linija)

**Fig. 2.6.** Study analyzed technological solution lines (dotted line)

Nustatant techninį potencialą, technologijų sanklota nėra vertinama. Laikomasi nuostatos, kad potencialas nustatomas kaip maksimalus galimas energijos kiekis, kurį gali sukurti atitinkama technologija transformuodama pirminę šaltinio formą į vartotojui naudingą energijos formą. Techninio potencialo atvejai pavaizduoti 2.7 paveiksle.



**2.7 pav.** Pagrindiniai techninio potencialo identifikavimo atvejai

**Fig. 2.7.** Basic cases of technological potential identification

Techninis potencialas nustatomas atsižvelgiant į transformuojamo AEI naudojimo paskirtį. Tai atliekama turint tikslą atsižvelgti į skirtingą technologijų

veikimą ruošiant atitinkamos kokybės galutinę energiją. Metinio srautų potencialo galia nustatoma kaip aritmetinis galios reikšmių vidurkis.

Toliau pateikiamas matematinis techninio atskirų AEI srautų potencialo nustatymo modelis.

### 2.4.2.1. Saulės energijos techninis potencialas

#### *Saulės kolektoriai*

Saulės kolektorių techninis galimos transformuoti energijos srautas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Q'_{AEI,h,s(SC)} = A'_{s(SC)} \cdot q'_{AEI,h,s} \cdot \eta_1, \quad (2.19)$$

čia  $Q'_{AEI,h,s}$  – saulės energijos srautas į  $m^2$  plokštumos;  $A'_{s(SC)}$  – saulės energijos pasiekiamą technologijos darbo zona ( $m^2$ ), įvertinus galimą šešėliavimą, laikančiųjų konstrukcijų užimamą plotą ar technines galimybes konkrečiame sklype įrengti atitinkamo dydžio darbinės zonos plotą;  $\eta_1$  – saulės kolektorių efektyvumas priklausomai nuo spinduliuotės kiekio, kolektoriaus ir aplinkos temperatūros skirtumo (įvertinus „naudingos energijos“ pasireiškimo sąlygas,  $kW/m^2$ ; „naudinga energija“, kai, įvertinus sistemos veikimo minimalius ir maksimalius parametrus bei apsupties technines sąlygas, dalis pasiekiančio srauto yra nenaudinga, neįvertinama).

Saulės energijos srautas patikslinamas priklausomai nuo kolektorių pasvirimo kampo ir posūkio, arba sekimo (angl. „tracking“), kampą:

$$q'_{AEI,h,s} = f(\alpha; \beta; a_1), \quad (2.20)$$

čia  $\alpha$  – kolektorių pasvirimo kampas;  $\beta$  – kolektorių posūkio kampas;  $a_1$  – saulės kelio danguje sekimo įtakos įvertinimas.

Saulės kolektorių efektyvumas:

$$\eta_1 = f(\Delta(T_m - T_a); \eta_0; a_2; a_3; a_4), \quad (2.21)$$

čia  $T_m$  – kolektoriaus temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  $T_a$  – oro temperatūra,  $^{\circ}C$ ;  $\eta_0$  – kolektoriaus maksimalus efektyvumas;  $a_2$  ir  $a_3$  – šilumos nuostolių koeficientai;  $a_4$  – koeficientas apibūdinantis technologijos funkcionalumą (veikia / neveikia);

Skaiciavimams naudojama kolektoriaus efektyvumo nustatymo formulė:

$$\eta_1 = \eta_0 - \frac{a_2 \cdot \Delta(T_m - T_a)}{q'_{AEIs}} - \frac{a_3 \cdot \Delta(T_m - T_a)^2}{q'_{AEIs}}. \quad (2.22)$$

Saulės kolektorių technologijos veikimą apibūdinančiam funkcionalumo koeficientui  $a_4$  taikoma sąlyga:

$$a_4 = 1, \text{ kai } \eta_1 > 0. \quad (2.23)$$

Prielaidos:

$A'_{s(SC)} - 85\%$  nuo maksimalaus darbo zonos ploto.

$\alpha - 40$  laipsnių;

$\beta - 0$  laipsnių;

$a_1 -$  nėra saulės kelio sekimo sistemos.

$\eta_0 - 0,815$ ;

$a_2 - 1,5 \text{ W/m}^2\text{C}$ ;

$a_3 - 0,034 \text{ W/m}^2\text{C}$ ;

$T_m - 40^\circ\text{C}$  (patalpoms šildyti);

$T_m - 50^\circ\text{C}$  (karštam vandeniui ruošti);

Saulės kolektoriaus techninis potencialas įgauna skaitinę reikšmę tik viršijus minimalų šilumos kiekį, reikalingą sušildyti saulės kolektoriaus sistemoje esančiam šilumnešiu. Taikoma sąlyga:

$$Q'_{AEI,h,s(SC)} > Q'_{AEI,h,s(SC)} \min. \quad (2.24)$$

### *Adsorbcinis vėsinimo įrenginys*

Adsorbcinio vėsinimo įrenginio transformuojamos energijos srautas:

$$Q'_{AEI,h,s(AC)} = Q'_{AEI,h,s(SC)} \cdot \eta_2, \quad (2.25)$$

čia  $\eta_2 -$  adsorbcinės vėsinimo sistemos bendras šilumos į vėsą transformacijos efektyvumas;  $Q'_{AEI,h,s(SC)} -$  saulės kolektoriais sugeneruotas šilumos srautas, kai  $T_m - 65^\circ\text{C}$ .

Prielaidos:

$\eta_2 - 0,10$ ;

$T_m - 65^\circ\text{C}$  (vėsai generuoti).

### *Saulės fotoelementai*

Saulės fotoelementų transformuojamos energijos srautas:

$$Q'_{AEI,h,s(SE)} = A'_{s(SE)} \cdot q'_{AEI,h,s} \cdot \eta_3, \quad (2.26)$$

čia  $A'_{s(SE)}$  – saulės fotoelementų modulių aktyvios darbo zonos plotas,  $m^2$ , įvertinus sklypo vietos sąlygas, technologinius įrengimo apribojimus;  $\eta_3$  – fotoelemento naudingumo koeficientas.

Fotoelementų modulius pasiekiančiam saulės energijos srautui įvertinti taikoma 2.20 lygtis.

Prielaidos:

$A'_{s(SC)}$  – 75 % nuo maksimalaus darbo zonos ploto;

$\eta_3 = 0,15$ .

*Neįstiklintas pratakus saulės kolektorius*

Neįstiklinto pratakaus saulės kolektoriaus transformuojamos energijos srautas, apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Q'_{AEI,h,s(SW)} = A'_{s(SW)} \cdot q'_{AEI,h,s,SW} \cdot \eta_4, \quad (2.27)$$

čia  $A'_{s(SW)}$  – nepratakaus saulės kolektoriaus aktyvios darbo zonos plotas,  $m^2$ , įrenginio plotą apribojant kontrolinio tūrio virš sklypo esančios erdvės matmenimis (24,49 x 50 m);  $q'_{AEI,h,s,SW}$  – saulės energijos srautas įvertinus vertikalią kolektoriaus padėtį ir paviršiaus atspindžio koeficientą;  $\eta_4$  – temperatūrinis efektyvumas.

Prielaidos:

$A'_{s(SC)} = 1224,74 m^2$ ;

$\eta_4 = 0,85$ ;

Kolektoriaus paviršiaus atspindžio koeficientas (Albedo) – 0,86.

#### **2.4.2.2. Vėjo energijos techninis potencialas**

Vėjo jėgainės techninis galimos transformuoti energijos srautas, apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$Q'_{AEI,h,v} = 0,593 \cdot q'_{AEI,h,v} \cdot A'_v \cdot \eta_5, \quad (2.28)$$

čia 0,593 – maksimalios galios koeficientas Betz;  $q'_{AEI,h,v}$  – vėjo energijos srautas į technologijos darbo plokštumos kvadratinį metrą;  $A'_v$  – vėjo energijos pasiekama technologijos darbo zona,  $m^2$ , įvertinus technines galimybes konkrečiame sklype įrengti atitinkamo dydžio vėjo jėgainės darbinės zonos plotą;  $\eta_5$  – naudingo veikimo koeficientas, įvertinus minimalų vėjo greitį, nuo

kurio vėjo jėgainė gali naudingai veikti ar būti stabdoma dėl vėjo greičių, viršijančių leistinus maksimalius vėjo greičius.

Naudingo veikimo koeficientas apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\eta_5 = f(v_{\min}; v_{\max}), \quad (2.29)$$

čia  $v_{\min}$  – minimalus vėjo greitis (angl. *cut-in speed*), kuriam esant vėjo jėgainė pradeda veikti;  $v_{\max}$  – maksimalus vėjo greitis (angl. *cut-out speed*), kuriam esant vėjo jėgainė yra stabdoma, kad būtų išvengta sugadinimo, ir neveikia.

Taikoma sąlyga:

$$\eta_5 = 1, \begin{cases} v > v_{\min}, \\ v < v_{\max} \end{cases}. \quad (2.30)$$

Prielaidos:

$v_{\min} = 3 \text{ m/s}$ ;

$v_{\max} = 20 \text{ m/s}$ .

#### 2.4.2.3. Grunto šilumos techninis potencialas

*Šilumos siurblio veikimas šildymo režimu*

Gruntinio šilumos siurblio su vertikaliu kolektoriumi techninis galimos transformuoti energijos srautas:

$$Q'_{\text{AEIgr,GL},\text{š}} = A'_{\text{gr(GL)}} \cdot q_g \cdot k_1, \quad (2.31)$$

čia  $A'_{\text{gr(GL)}}$  – vertikalaus gruntinio šilumos siurblio aktyvios veikimo zonos paviršiaus plotas,  $\text{m}^2$ ;  $k_1$  – šilumos siurblio veikiančio šildymo režimu darbo efektyvumą išreiškiantis daugiklis.

Prielaidos:

$A'_{\text{gr(GL)}} = P \cdot h_v = 5498,98 \text{ m}^2$  ( $P$  – sklypo perimetras – 97,98 m,  $h_v$  – vertikalaus kolektoriaus įrengimo gylį atitinkantis grunto gylis – 50 m);  $k_1 = 1,5$  patalpų šildymo atveju (atitinkantis 2,5 veikimo efektyvumo koeficientą) ir 2 – karšto vandens ruošimo atveju (atitinkantis 2 veikimo efektyvumo koeficientą).

Gruntinio šilumos siurblio su horizontaliu kolektoriais techninis galimos transformuoti energijos srautas:

$$Q'_{\text{AEIgr,H},\text{š}} = (A \cdot Q'_{\text{AG}} + A'_{\text{gr(H)}} \cdot q_G) \cdot k_1, \quad (2.32)$$

čia  $Q'_{\text{AG}}$  – šilumos srautas į horizontalų kolektorių, nustatomas pagal 2.5 formulę, naudojant kolektoriaus šilumnešio temperatūrą,  $T_{\text{p,šil}}$ ;  $A'_{\text{gr(H)}}$  –

horizontalaus grunto šilumos siurblio aktyvios veikimo zonos paviršiaus plotas,  $\text{m}^2$ .

Prielaidos:

$$T_{p,\text{šil}} = 0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$A'_{\text{gr(H)}} = P \cdot h_h = 795,96\text{ m}^2$  ( $h_h$  – horizontalaus kolektoriaus įrengimo gylį atitinkantis grunto gylis – 2 m);

Jei  $Q'_{\text{AG}} \leq 0$ , šilumos srautas nėra vertinamas.

### *Šilumos siurblio darbas vėsinimo režimu*

Grunto šilumos siurblio su vertikaliu kolektoriumi techninis galimos transformuoti energijos srautas:

$$Q'_{\text{AEIgr,GL,V}} = q'_{\text{AEI,h,gr,GL,V}} \cdot l \cdot n \cdot k_2, \quad (2.33)$$

čia  $q'_{\text{AEI,h,gr,GL,V}}$  – šilumos srautas tiesiniame vertikalaus kolektoriaus vamzdžio metre,  $\text{kW/m}$ ;  $l$  – grunto kolektoriaus ilgis, m;  $n$  – kolektorių skaičius,  $k_2$  – šilumos siurblio veikiančio vėsinimo režimu darbo efektyvumą išreiškiantis daugiklis.

Prielaidos:

$$q'_{\text{AEI,h,gr,GL,V}} = 0,05\text{ kW/m};$$

$l = 100\text{ m}$ ;

$n = 4\text{ vnt.}$ ;

$k_2 = 2$  (atitinkantis 2 darbo efektyvumo koeficientą).

Grunto šilumos siurblio su horizontaliu kolektoriumi techninis galimos transformuoti energijos srautas:

$$Q'_{\text{AEIgr,GL,H}} = q'_{\text{AEI,h,gr,GL,H}} \cdot A \cdot k_2, \quad (2.34)$$

čia  $q'_{\text{AEI,h,gr,GL,H}}$  – šilumos srautas horizontaliame kolektoriuje,  $\text{kW/m}^2$ .

Prielaidos:

$$q'_{\text{AEI,h,gr,GL,H}} = 0,02\text{ kW/m}^2.$$

#### 2.4.2.4. Oro šilumos techninis potencialas

*Patalpų šildymo režimu veikiantis šilumos siurblys*

Orinio šilumos siurblio veikiančio patalpų šildymo režimu transformuojamos energijos srautas:

$$Q'_{\text{AEI,h,O(HA),š}} = q'_{\text{AEI,h,O}} \cdot A'_{\text{HA}} \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (2.35)$$

čia  $q'_{\text{AEI,h,O}}$  – oro šilumos srautas į orinio šilumos siurblio technologijos veikimo plokštumos kvadratinį metrą esant 3 laipsnių oro temperatūros perkričiui šilumos siurblio išoriniame bloke ( $\Delta T_{\text{HA}}$ ) ir oro srauto debitui, atitinkančiam vėjo greičio ir plokštumos, kurią kerta srautas, kontrolinį sklypo tūrį, sandaugai;  $A'_{\text{HA}}$  – oro šilumos srauto pasiekama technologijos darbo zona,  $\text{m}^2$ ;  $k_3$  – naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros, kai šilumnešio temperatūra 35 °C;  $k_4$  – naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo vėjo krypties, kai šilumos siurblio oro srauto įtekėjimo plokštuma atsukta statmenai vyraujančiai oro kryptiai.

Prielaidos;

$\Delta T_{\text{HA}} - 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$A'_{\text{HA}} - 1224,74 \text{ m}^2$ .

*Naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros*

**2.2 lentelė.** Orinio šilumos siurblio  $k_3$  daugiklio reikšmės

**Table 2.2.** Air heat pump factor  $k_3$  values

Oro temperatūra	Veikimo efektyvumas	Daugiklis $k_3$
-20	1,5	3,00
-10	2,5	1,67
0	3	1,50
10	4	1,33
20	4,5	1,29
30	5	1,25



*Naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo vėjo krypties*

**2.3 lentelė.** Orinio šilumos siurblio  $k_4$  daugiklio reikšmės

**Table 2.3.** Air heat pump factor  $k_4$  values

Vėjo kryptis	Š	ŠR	R	PR	P	PV	V	ŠV
Daugiklis $k_4$	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8	0,7

*Karšto vandens ruošimo režimu veikiantis šilumos siurblys*

Orinio šilumos siurblio, veikiančio karšto vandens ruošimo režimu, transformuojamos energijos srautas:

$$Q'_{AEI,h,O(HA),KV} = q'_{AEI,h,O} \cdot A'_{HA} \cdot k_5 \cdot k_4, \quad (2.36)$$

čia  $k_5$  – naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros, kai šilumnešio temperatūra 50 °C.

*Naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros*

**2.4 lentelė.** Orinio šilumos siurblio  $k_5$  daugiklio reikšmės

**Table 2.4.** Air heat pump factor  $k_5$  values

Oro temperatūra	Darbo efektyvumas	Daugiklis $k_3$
–20	1,1	11,00
–10	1,5	3,00
0	2,5	1,67
10	3	1,50
20	3,5	1,40
30	4	1,33

*Vėsinimo režimu veikiantis šilumos siurblys*

Orinio šilumos siurblio, veikiančio vėsinimo režimu, transformuojamos energijos srautas:

$$Q'_{AEI,h,O(HA),V} = q'_{AEI,h,O,V} \cdot A'_{HA} \cdot k_6 \cdot k_4, \quad (2.37)$$

čia  $q'_{AEI,h,O,V}$  – oro šilumos srautas į orinio šilumos siurblio technologijos darbo plokštumos kvadratinį metrą, esant 5 laipsnių oro temperatūros perkričiui

šilumos siurblio išoriniame bloke ( $\Delta T_{HA}$ ) ir oro srauto debitui, atitinkančiam vėjo greičio ir plokštumos, kurią kerta srautas, kontrolinį sklypo tūrį, sandaugai;  $k_6$  – naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros.

Prielaidos:

$\Delta T_{HA} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Naudingo veikimo koeficientas, priklausantis nuo aplinkos oro temperatūros*

**2.5 lentelė.** Orinio šilumos siurblio  $k_6$  daugiklio reikšmės

**Table 2.5.** Air heat pump factor  $k_6$  values

Oro temperatūra	Veikimo efektyvumas	Daugiklis $k_3$
15	3,8	1,36
20	3,3	1,43
25	2,8	1,56
30	2,5	1,67
35	2	2,00
40	1,7	2,43

#### 2.4.2.5. Teorinio ir techninio potencialo palyginimas

Siekiant įvertinti taikomos technologijos efektyvumą, nustatomas teorinio ir techninio potencialo santykis, kaip technologijos efektyvumas panaudojant teorinį AEI potencialą:

$$\chi = Q_{\text{techninis}} / Q_{\text{teorinis}}. \quad (2.38)$$

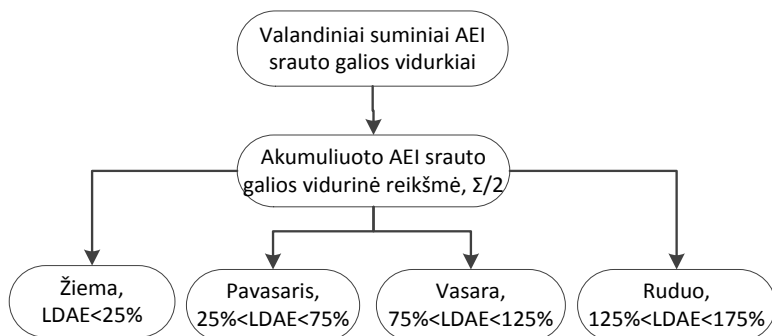
Kuo technologija efektyvesnė, tuo teorinio ir techninio potencialo santykis artimesnis 1. Kadangi sklypo AEI potencialas natūraliomis gamtos sąlygomis lyginamas su technologiniu sprendiniu, pakeičiančiu natūralias sąlygas, tai galimas AEI panaudojimo efektyvumas didesnis už 1.

AEI panaudojimo efektyvumo rodiklis suteikia papildomos informacijos apie galimą technologijos ar jos panaudojimo tobulinimą.

#### 2.4.3. Energijos išteklių srauto skirstymas į sezonus

Šiame tyrime numatomas metinės srautų dinamikos skirstymas į būdingus laikotarpius. Siekiant labiau pažinti sklypą pasiekiančius AEI srautus, pirmiausia

metų laikotarpis skirstomas į keturis laikotarpius: šaltąjį (žiema), pereinamąjį į šiltąjį (pavasaris), šiltąjį (vasara) ir pereinamąjį į šaltąjį (ruduo). Laikomasi nuostatos, kad šaltojo laikotarpio riba yra ties 25 %, o šiltojo laikotarpio riba yra ties 75 % nuo maksimalios suminio srauto akumuliuoto vidurkio reikšmės. Ribų nustatymo algoritmas pateikiamas tolesnėje schemoje (2.8 pav.).



**2.8 pav.** Metų skirstymo į būdingus laikotarpius loginė informacijos struktūra

**Fig. 2.8.** Logical information structure of year division to specific seasons

Toks metų trukmės duomenų skirstymas leidžia atskirus technologinius sprendinius labiau pritaikyti prie tuo laikotarpio vyraujančių AEI energijos srautų.

## 2.5. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių ir juos naudojančio technologijos atrankos metodas

Didėjantis atsinaujinančiosios energijos naudojimo mastas kelia naujų uždavinių energetinių sistemų planavimo, modeliavimo ir projektavimo etapuose. Pirminiame inžinerinio sprendinio koncepcijos kūrimo etape, prieš pradedant sistemų modeliavimą, būtina vienodu detalumu įvertinti sklype disponuojamą AEI potencialą ir pagal tai išrinkti racionaliausias AEI technologijas. Kaip parodė literatūros apžvalga, AEI transformatorių optimizavimo uždaviniuose jau yra naudojami inžineriniai rodikliai, suteikiantys informacijos apie pasirinktos AEI technologijos energetinę naudą. Tačiau šie rodikliai išreiškia jau suformuoto technologinio sprendinio naudą ar trūkumus ir neperteikia techninio AEI potencialo santykio su formuojamu sklypo energijos poreikiu. Tęsiant kompleksinį sklypo AEI potencialo vertinimą, būtina įvertinti sklype disponuojamą bendrą AEI potencialą ir, atsižvelgiant į metų ar pasirinkto sezono trukmės galios reikšmių kitimo dinamiką, suformuoti taikytinų technologinių sprendinių gaires. Būtina įvertinti šiuo metu populiariausias ir sėkmingai

taikomas AEI technologijas. Joms parinkti tikslinga taikyti vienodu techniniu detalumu numatytas veikimo prielaidas, taip pat apsiriboti tik AEI transformavimo etapu. Sprendinio gairėms numatyti keliame šie uždaviniai:

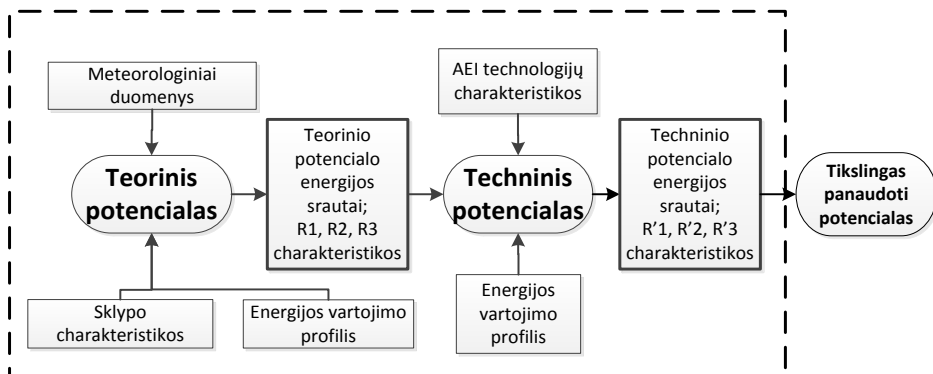
1. Turint sklypo meteorologinių duomenų masyvą, nustatyti teorinį AEI potencialą.
2. Įvertinus pirmines supaprastintų technologinių sprendinių technines charakteristikas, nustatyti techninį AEI potencialą.
3. Atsižvelgiant į suformuotus pastato energijos poreikius, kiekvienam techniniam sprendiniui / technologijai suteikti priimtimumo prioritetą.
4. Nustatyti techninio sprendinio/technologijos galią.

Šių uždavinių rezultatas – taikytinos atitinkamos AEI technologijos priimtimumas, siekiant patenkinti formuojamą sklypo energijos poreikį. Priimtimumui įvertinti šiame tyrime siūloma naudoti disponuojamo AEI potencialo ir energijos poreikio suderinamumo rodiklius. Dėl paprastumo jie numatomi vadinti rodikliais R. Tolesniuose skyriuose pateiktas rodiklių nustatymo algoritmas.

## **2.6. Energijos išteklių ir juos naudojančios technologijos suderinamumo su energijos poreikiais rodiklių nustatymas**

Įvertinant konkretaus sklypo vietos sąlygomis AEI technologinio sprendinio suderinamumą su sklype formuojamu energijos poreikiu atliekami veiksmai, kurie struktūriškai pavaizduoti 2.9 paveiksle. Šiame paveiksle pateiktoje schemoje teorinio ir techninio potencialo nustatymo struktūra papildyta sklype esančio pastato, kaip energijos vartotojo, energijos poreikių informacija („Energijos vartojimo profilis“) ir suderinamumo rodiklių informacija („Teorinio potencialo energijos srautai; R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> charakteristikos“ ir „Techninio potencialo energijos srautai, R'<sub>1</sub>, R'<sub>2</sub>, R'<sub>3</sub> charakteristikos“).

Punktyrinė linija rodo tyrimo, drauge ir technologijos parinkimo gairių nustatymo metodo ribas. Neviršijant šių ribų yra nustatomas teorinis ir techninis sklype disponuojamos AEI energijos potencialas ir greta pateikiami suderinamumo rodikliai, padedantys parinkti labiausiai poreikius atitinkantį AEI energiją transformuojantį technologijos sprendinį. Tiek teorinio, tiek techninio potencialo identifikavimo etapuose R rodiklių nustatymas leidžia detalizuoti AEI technologijų darbo efektyvumo didinimo informaciją.



**2.9 pav.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo nustatymo lygmenys ir suderinamumo rodiklių identifikavimo vieta (punkttyrinė linija žymi tyrimo apimtį)

**Fig. 2.9.** Renewable energy sources potential setting levels and compatibility indicators identification point (scope of the study is marked in dotted line)

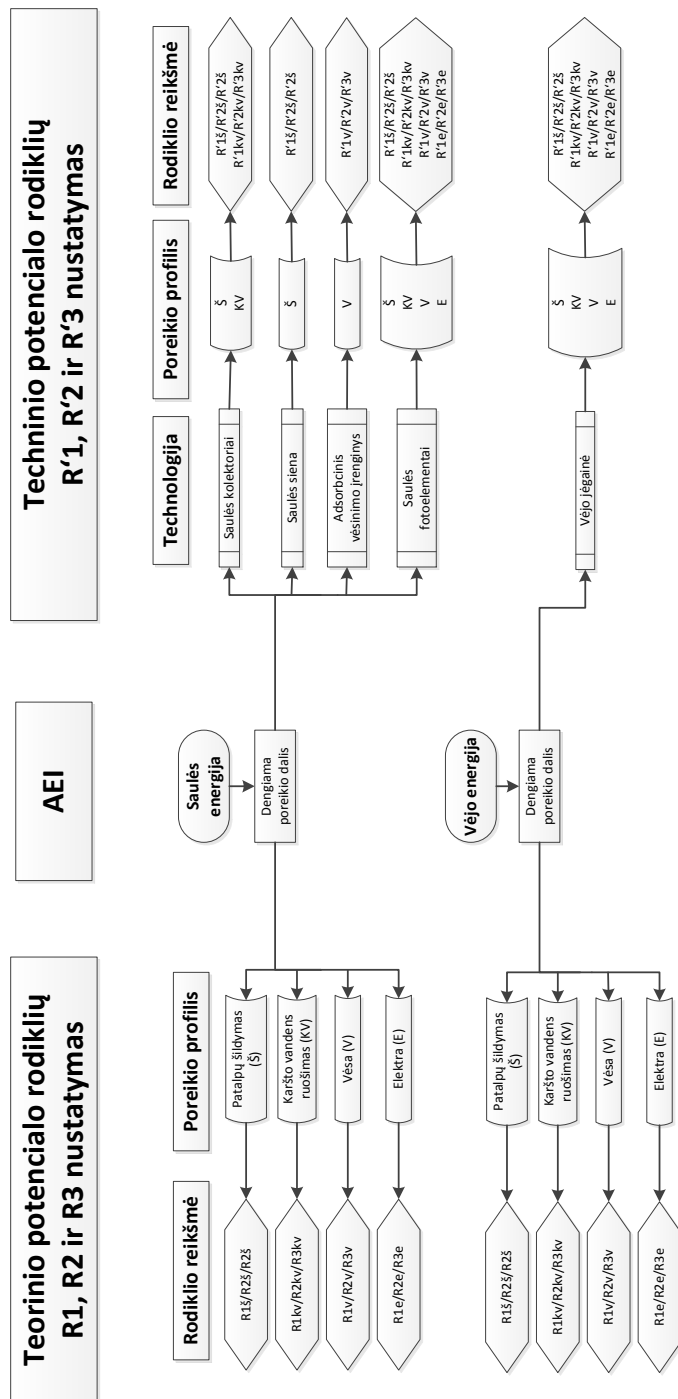
AEI technologijos parenkamos atsižvelgiant į tris R rodiklius, kuriais vertinamas AEI potencialo ir poreikio suderinamumas, siekiant patenkinti pastato energetinius poreikius (2.6 lentelė).

**2.6 lentelė.** Technologijų atrankai naudojami rodikliai

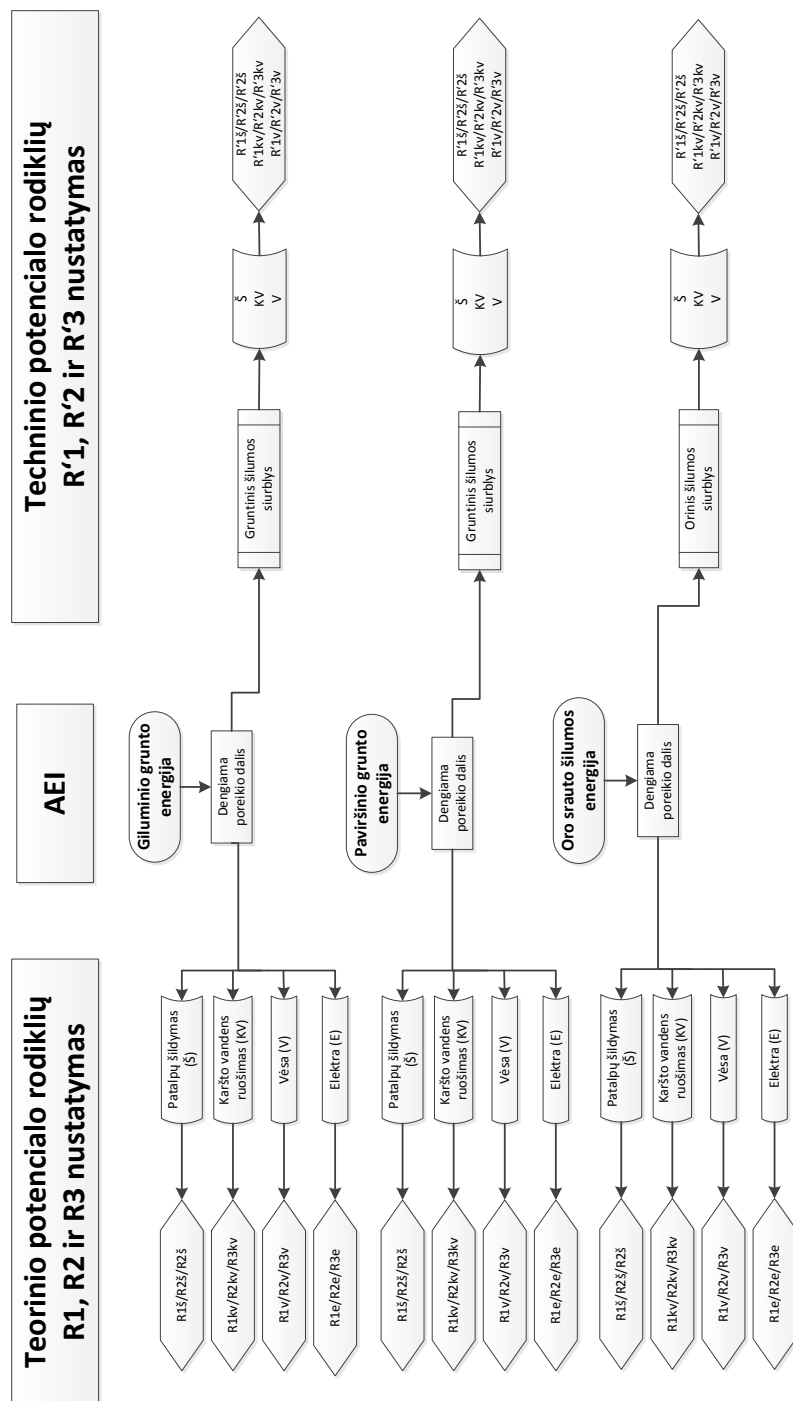
**Table 2.6.** Indicators of technologies selection

Rodiklio Nr.	Rodiklis	Rodiklio trumpas apibūdinimas	Rodiklio skaitinė reikšmė
1.	R1	Poreikio užtikrinimo rezervas	Valandinis santykis ar santykio reikšmių vidurkis apimant pasirinktą laikotarpį, nedimensinis dydis
2.	R2	Poreikio užtikrinimo nuoseklumas	Valandinė loginė „taip = 1“ arba „ne = 0“ reikšmė ar suminio „taip“ kiekio santykis apimant pasirinktą laikotarpį, nedimensinis dydis
3.	R3	Energijos potencialo prasilenkimas su poreikiu per laiką	Valandinis galios skirtumas ar pasirinkto laikotarpio suminis skirtumas, kW

Grafinė R rodiklių nustatymo struktūra pateikta 2.10–2.11 paveiksluose pateikiama. Struktūra atitinka kompleksinio AEI vertinimo logiką. Atlikus skaičiavimus sukuriamas rodiklių skaitinių reikšmių masyvas. Svoriniu metodu nustatoma prioritetinga AEI šaltinio ir jų panaudojimui skirtų technologijų eilė.



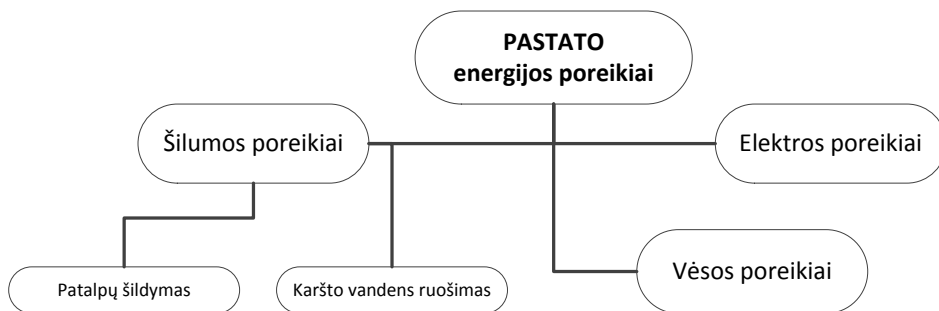
**2.10 pav.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių technologijų atrankos R rodiklių nustatymo struktūra: saulės ir vėjo energija  
**Fig. 2.10.** Structure of renewable energy sources technologies selection indicators R setting for solar and wind energy



**2.11 pav.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių technologijų atrankos R rodiklių nustatymo struktūra: grunto ir oro šiluma  
**Fig. 2.11.** Structure of renewable energy sources technologies selection indicators R setting for ground and air heat

### 2.6.1. Sklype formuojami energijos poreikiai

Šiame tyrime AEI technologijų suderinamumui vertinti pasirenkami pagrindiniai pastato energijos poreikiai: šilumos, vėsos ir elektros energijos (2.12 pav.).



**2.12 pav.** Pastato energijos poreikių sudedamosios dalys

**Fig. 2.12.** Main components of building energy needs

Skaiciavimo modelyje naudojamas valandinis energijos poreikių kitimas. Paimti tipinio vienbučio mažaeenergio gyvenamojo namo duomenys iš Pastatų energetikos katedros atliekamų pastato energijos poreikių modeliavimo darbų. Naudojamų duomenų detalumas pateiktas 2.7 lentelėje.

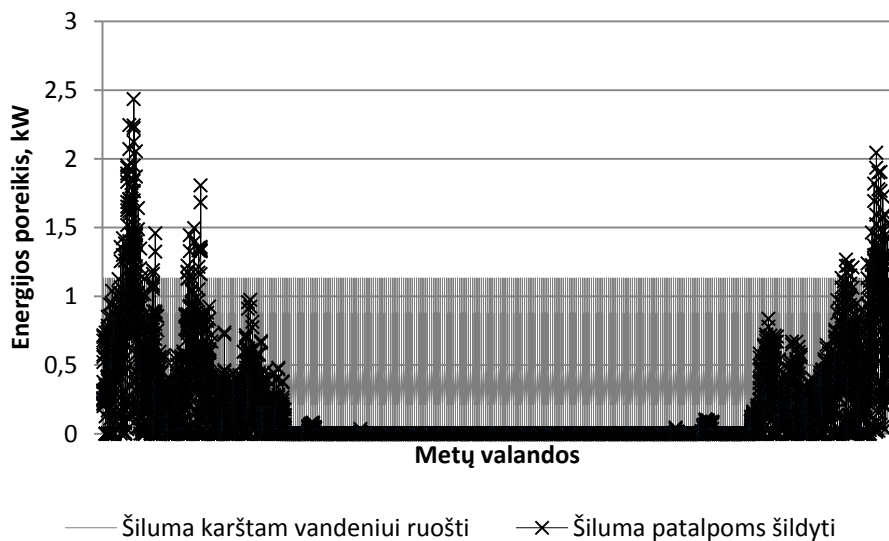
**2.7 lentelė.** Poreikių įvesties duomenų detalumas

**Table 2.7.** Particularity of needs' data input

Laikas	Pastato poreikių tipai			
	Šilumos poreikis patalpoms šildyti	Šiluma karštam vandeniui ruošti	Vėsa	Elektra
	kW	kW	kW	kW
2013.01.01 01:00	0,583	0,207	0	0,31
2013.01.01 02:00	0,590	0,000	0	0,31
....	....	....	....	...

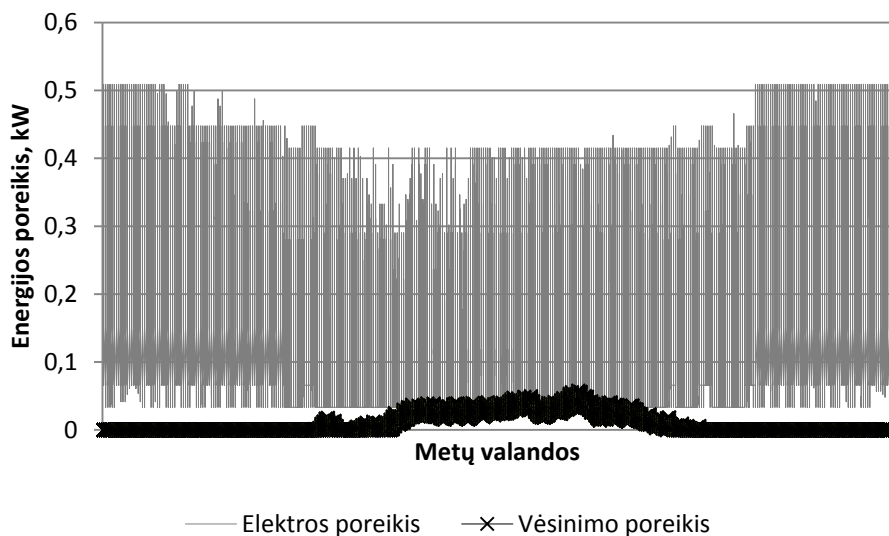
Elektros energijos poreikiai apima apšvietimo ir šilumnešiams transportuoti reikalingus energijos poreikius be buitinių vartotojų poreikių. Technologijų atrankos skaičiavimo modelyje formuojamas pagrindinės poreikių dalies (PGR) ir dalies poreikių (DLN) patenkinimas. Atitinkamai šiais dviem atvejais yra nustatomi R rodikliai. Pastato energijos poreikiai apima metų trukmės laikotarpį (2.13–2.14 pav.)





**2.13 pav.** Šilumos patalpoms šildyti ir karštam vandeniui ruošti metinė reikšmių dinamika

**Fig. 2.13.** Annual dynamics of heat for rooms' heating and hot water preparation values



**2.14 pav.** Vėsos ir elektros metinė reikšmių dinamika

**Fig. 2.14** Annual dynamics of cooling and electricity values

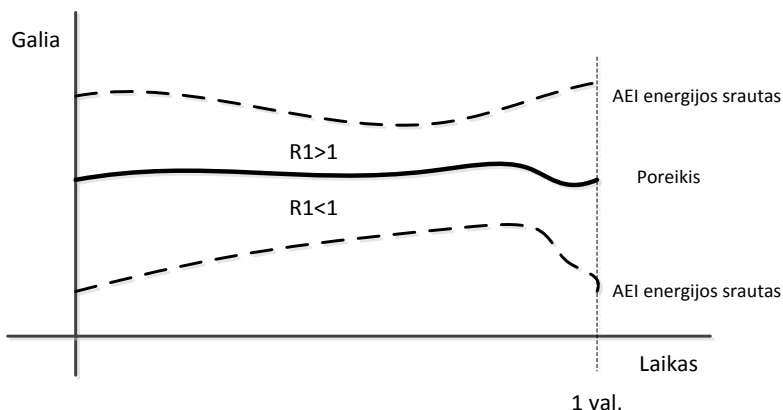
Dalinio poreikio patenkinimo nustatymas:

$$Q_{P,h,x}(PGR, DLN) = Q_{P,h,x} \cdot k_1, \quad (2.39)$$

čia  $Q_{P,h,x}$  – pastato momentinis galios poreikis (kW); modelyje numatomas pagrindinės poreikių dalies ir dalinis poreikių patenkinimas;  $x$  – energijos poreikio tipas: šilumos patalpoms šildyti tipas toliau žymimas „š“, šilumos karštam vandeniui ruošti – „kv“, vėsos – „v“, elektros – „e“;  $h$  – valandos rodiklio indeksas;  $k_1$  – energijos poreikio patenkinimo dalis. Koeficientas, kuriuo vertinami PGR (pvz., 95 %) ir DLN (pvz., 40 %) poreikio patenkinimo atvejai. 100 % patenkinimas atitinka reikšmę „1“.

### 2.6.2. Energijos poreikio užtikrinimo rezervo rodiklio R1 nustatymas

Rezervo pakankamumas vertinamas atskirai pagal poreikio tipą (2.15 pav.). Suminis poreikių užtikrinimas iš vieno energijos šaltinio nėra vertinamas.



**2.15 pav.** Poreikio užtikrinimo rezervo rodiklio R1 grafinė interpretacija  
**Fig. 2.15.** Graphical interpretation of reserve of needs meeting indicator R1

Rodiklis R1 suprantamas kaip dydis, apibūdinantis santykį tarp esamo techninio AEI potencialo ir formuojamo sklypo energijos poreikio. Nustatomas potencialo trūkumas arba perviršis ir jo santykinė skaitinė reikšmė, t. y. kiek kartų energijos potencialas didesnis (mažesnis) už poreikį. Laikotarpio, apimančio daugiau nei vieną valandą, rodiklis R1 nustatomas kaip aritmetinis pasirinkto laikotarpio R1 reikšmių vidurkis. Taip gaunama informacija tiek apie galimybę patenkinti planuojamą ar didesnę energijos poreikį, tiek apie būtinybę akumuliaciją modeliuoti. Esant potencialo perviršiui, galima numatyti

energijos akumuliatorius ir perteklinę energiją akumuluoti, panaudoti kitoms reikmėms ar planuoti galimą poreikių padidėjimą ateityje.

### 2.6.2.1. Teorinio potencialo poreikio užtikrinimo rezervo rodiklio R1 nustatymas

Siekiant nustatyti AEI suderinamumą su sklype formuojamu poreikiu pirmiausia nustatomas AEI teorinio potencialo rodiklis R1. Jis apibūdina atitinkamo šaltinio kiekybinę derėjimą su sklype formuojamu energijos poreikiu. Valandinis rodiklis R1 nustatomas kaip nedimensinis dydis:

$$R1_{h,x}(PGR, DLN) = Q_{AEI,h,y} / Q_{P,h,x}(PGR, DLN), \quad (2.40)$$

čia  $R1_{h,x}$  – teorinio AEI energijos potencialo ir pastato energijos poreikio santykio rodiklis; reikšmė „1“ reikštų poreikio ir AEI potencialo atitikimą. Kuo šio santykio reikšmė didesnė, tuo AEI labiau patikimas, tuo didesnis jo rezervas. Indeksas „y“ reiškia poreikio tipą. Galimi trys rodiklio R1 variantai:

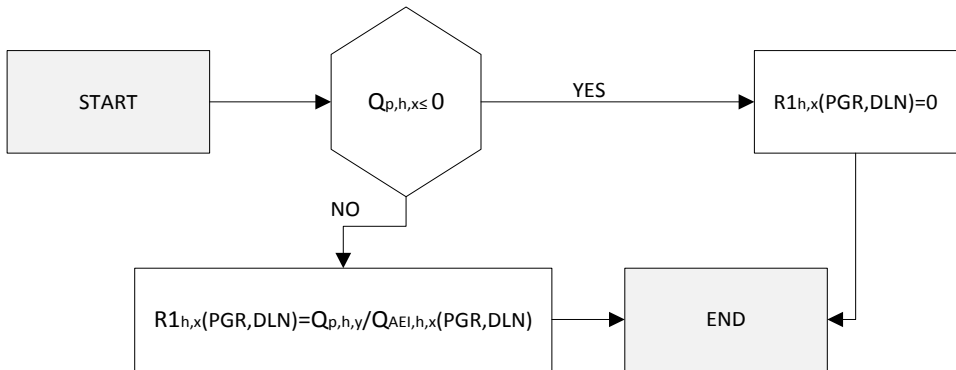
1.  $R1_{h,x} = 1$  – poreikis ir energijos potencialas atitinka.
2.  $R1_{h,x} < 1$  – energijos potencialo nepakanka poreikiui patenkinti.
3.  $R1_{h,x} > 1$  – poreikiui patenkinti panaudojamas ne visas disponuojamas energijos potencialas.

Pasirinkto laikotarpio R1 rodiklis nustatomas kaip vidurkis visų nustatytų valandinių atitinkamo laikotarpio vidurkių.

$$R1_{p,x}(PGR, DLN) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R1_{h,x}(PGR, DLN), \quad (2.41)$$

čia p – pasirinkto periodo rodiklio indeksas; n – pasirinkto periodo valandų skaičius; x – AEI indeksas.

2.16 paveiksle pateikiamas teorinio AEI potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R1 nustatymo algoritmas. Šis algoritmas rodo rodiklio R1 nustatymo etapus ir logiką. Atliekant skaičiavimus tikrinamos šiame poskyryje aprašytos rodiklio R1 nustatymo sąlygos. Tolesniam vertinimui naudojami sąlygas atitikę skaičiavimo rezultatai.



**2.16 pav.** Teorinio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R1 nustatymo algoritmas

**Fig. 2.16.** Algorithm of renewable energy sources theoretical potential hourly and selected period indicator R1 setting

### 2.6.2.2. Techninio potencialo poreikio užtikrinimo rezervo rodiklio R1 nustatymas

Nustatant techninio potencialo suderinamumą su sklype formuojamu poreikiu pirmiausia vertinamas maksimalaus techninio AEI potencialo santykis su energijos poreikiu. Techninio potencialo poreikio užtikrinimo rezervo valandinis rodiklis  $R'1$  nustatomas pagal šią formulę:

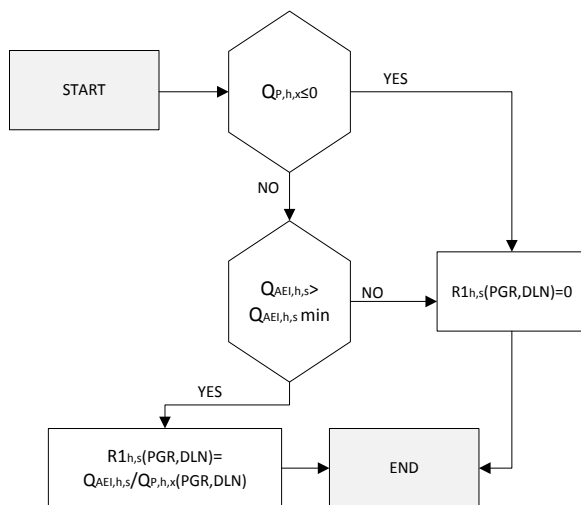
$$R'1_{h,x}(PGR; DLN) = \frac{Q'_{AEI,h,y}}{Q_{P,h,x}(PGR; DLN)}, \quad (2.42)$$

čia  $Q'_{AEI,h,y}$  – AEI techninis energijos potencialas, kW.

Pasirinkto laikotarpio  $R'1$  rodiklis nustatomas:

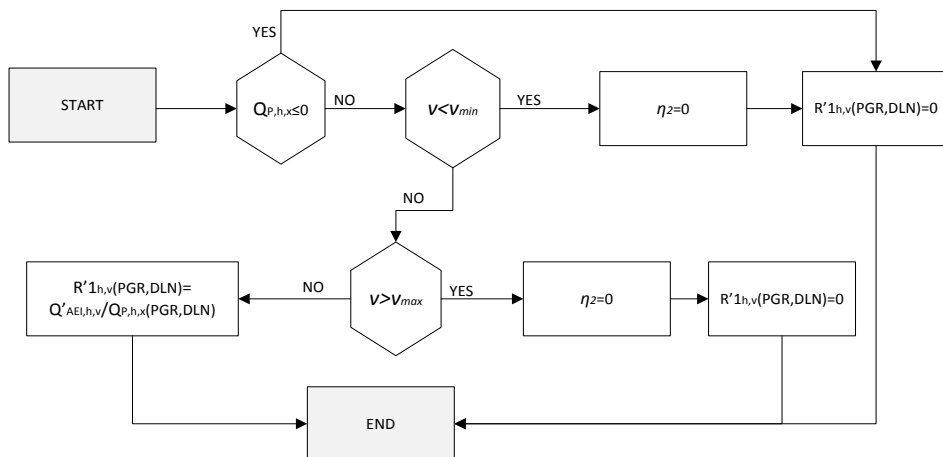
$$R'1_{p,x}(PGR; DLN) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R'1_{h,x}(PGR; DLN). \quad (2.43)$$

2.17–2.21 paveiksluose pateikiami techninio AEI potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'1$  nustatymo algoritmai pagal AEI tipą. Šis algoritmas rodo rodiklio  $R'1$  nustatymo etapus ir logiką. Kaip ir R1 nustatymo atveju atliekant skaičiavimus tikrinamos šiame poskyryje aprašytos rodiklio R1 nustatymo sąlygos. Tolesniam vertinimui naudojami sąlygas atitikę skaičiavimo rezultatai. Dėl techninio potencialo nustatymo skirtumų, vertinant pasirinktą technologiją yra taikoma skirtinga rodiklio nustatymo logika.



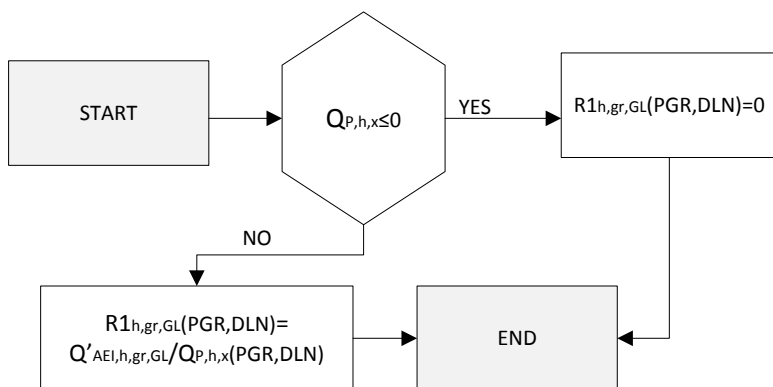
**2.17 pav.** Techninio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'1_{h,s}$  nustatymo algoritmas

**Fig. 2.17.** Algorithm of renewable energy sources technical potential hourly and selected period indicator  $R'1_{h,s}$  setting



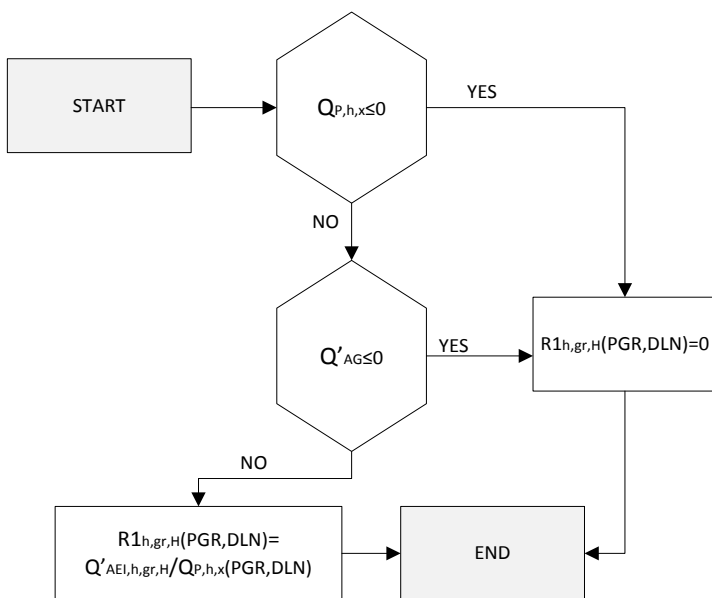
**2.18 pav.** Techninio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'1_{h,v}$  nustatymo algoritmas

**Fig. 2.18.** Algorithm of renewable energy sources technical potential hourly and selected period indicator  $R'1_{h,v}$  setting



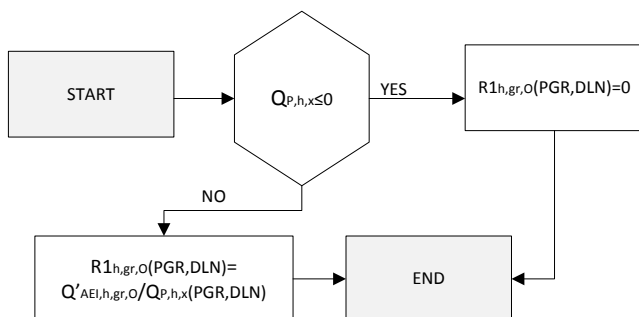
**2.19 pav.** Techninio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'1_{h,gr,GL}$  nustatymo algoritmas

**Fig. 2.19.** Algorithm of renewable energy sources technical potential hourly and selected period indicator  $R'1_{h,gr,GL}$  setting



**2.20 pav.** Techninio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'1_{h,gr,H}$  nustatymo algoritmas

**Fig. 2.20.** Algorithm of renewable energy sources technical potential hourly and selected period indicator  $R'1_{h,gr,H}$  setting



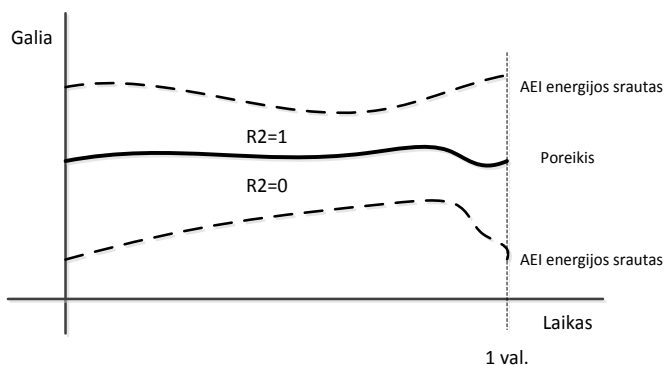
**2.21 pav.** Techninio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio  $R'_{1h,gr,o}$  nustatymo algoritmas

**Fig. 2.21.** Algorithm of renewable energy sources technical potential hourly and selected period indicator  $R'_{1h,gr,o}$  setting

### 2.6.3. Energijos poreikio užtikrinimo nuoseklumo rodiklio R2 nustatymas

Energijos poreikio užtikrinimo nuoseklumo rodiklis R2 suprantamas kaip AEI potencialo palyginimas su valandinio rezultato poreikiu (2.22 pav.) naudojant loginę atitikties funkciją (atitinka / neatitinka). Pasirinktam laikotarpiui šis rodiklis nustatomas kaip santykis suminių atvejų, kai AEI potencialas yra pakankamas patenkinti poreikiui su bendru valandų skaičiumi, kada buvo energijos poreikis.

Poreikių užtikrinimas vertinamas atskirai pagal poreikių tipą. Suminis efektas nėra vertinamas.



**2.22 pav.** Poreikio užtikrinimo nuoseklumo rodiklio R2 grafinė interpretacija

**Fig. 2.22.** Graphical interpretation of consistency of needs meeting indicator R2

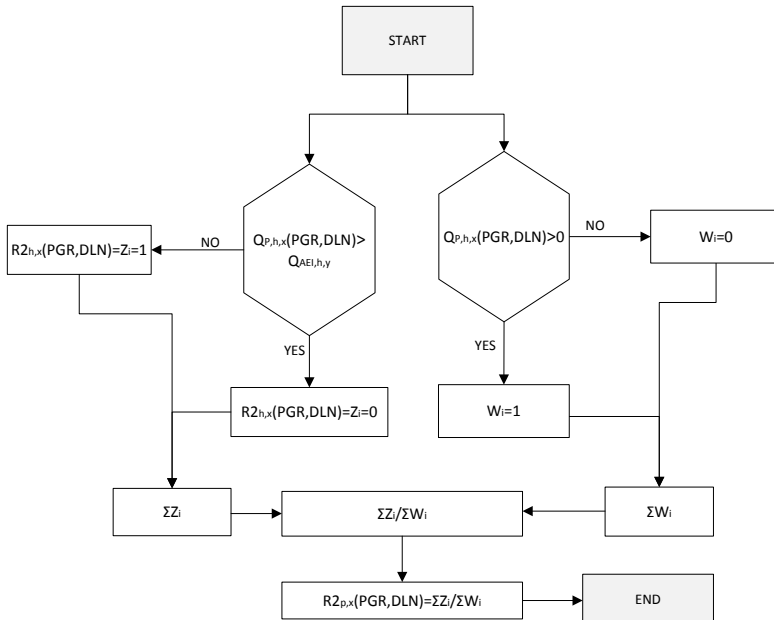
### 2.6.3.1. Teorinio potencialo poreikio užtikrinimo nuoseklumo nustatymas

AEI teorinio potencialo suderinamumui su energijos poreikiu įvertinti valandinis R2 rodiklis nustatomas kaip loginė funkcija:

$$R2_{h,x}(PGR, DLN) = \begin{cases} Z_i = 0, & \text{kai } Q_{P,h,x}(PGR, DLN) > Q_{AEI,h,y} \\ Z_i = 1, & \text{kai } Q_{P,h,x}(PGR, DLN) \leq Q_{AEI,h,y} \end{cases} \quad (2.44)$$

čia  $Z_i$  – poreikio ir atsinaujinančiosios energijos išteklių energijos srauto palyginimo atvejis; galimos palyginimo reikšmės 0 ir 1.

2.23 paveiksle pateikiamas teorinio AEI potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R2 nustatymo algoritmas. Šis algoritmas rodo rodiklio R2 nustatymo etapus ir logiką. Atliekant skaičiavimus tikrinamos šiame poskyryje aprašytos rodiklio R2 nustatymo sąlygos. Tolesniam vertinimui naudojami sąlygas atitikę skaičiavimo rezultatai.



**2.23 pav.** Teorinio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R2 nustatymo algoritmas

**Fig. 2.23.** Algorithm of renewable energy sources theoretical potential hourly and selected period indicator R2 setting



Pasirinkto laikotarpio R2 rodiklis nustatomas pagal šią formulę:

$$R2_{p,x}(PGR, DLN) = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (2.45)$$

čia  $W_i$  – valandinio poreikio atvejis. Galimi du dydžio  $W_i$  nustatymo atvejai:

$$Q_{P,h,x}(PGR, DLN) > 0, W_i = 1; \quad (2.46)$$

$$Q_{P,h,x}(PGR, DLN) = 0, W_i = 0. \quad (2.47)$$

### 2.6.3.2. Techninio potencialo poreikio užtikrinimo nuoseklumo nustatymas

Toliau pateikiamas techninio AEI potencialo poreikio užtikrinimo nuoseklumo rodiklio R'2 nustatymas. Valandinis R'2 rodiklis nustatomas kaip loginė funkcija:

$$R2_{h,x}(PGR, DLN) = \begin{cases} Z'_i = 0, & \text{kai } Q_{P,h,x}(PGR, DLN) > Q'_{AEI,h,y} \\ Z'_i = 1, & \text{kai } Q_{P,h,x}(PGR, DLN) \leq Q'_{AEI,h,y} \end{cases}. \quad (2.48)$$

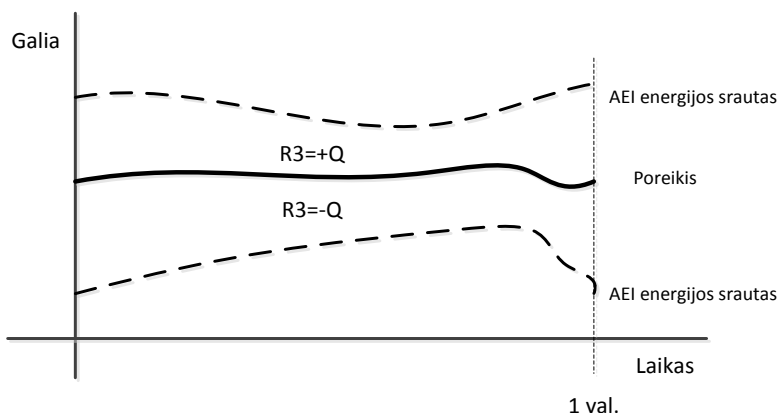
Pasirinkto laikotarpio R'2 rodiklis nustatomas:

$$R'2_{p,x}(PGR, DLN) = \frac{\sum_{i=1}^n Z'_i}{\sum_{i=1}^n W_i}. \quad (2.49)$$

Techninio potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio R'2 rodiklio nustatymo algoritmas identiškas R2 rodiklio nustatymui.

### 2.6.4. Atsinaujinančios energijos išteklių potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiu laiko periodu rodiklio R3 nustatymas

AEI potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiu laiku rodiklis R3 yra artimas poreikio užtikrinimo rezervo rodikliui R1. Pasirinkto laikotarpio rodikliu R1 apibūdinamas AEI santykis su poreikiu išreiškiant santykio vidurkį. Rodiklis R3 išreiškia kiekybinį AEI ir poreikio palyginimą energijos vienetais (kW). Pasirinkto laikotarpio kiekybinis palyginimas yra suminis atitinkamo laikotarpio energijos kiekis. Rodikliu R1 išreiškimas atitinkamo laikotarpio potencialo ir poreikių santykis nedetalizuojant jų apimties, o rodikliu R3 išreiškiamas kiekybinis jų palyginimas (2.24 pav.).



**2.24 pav.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo prasilenkimo su poreikiu rodiklio R3 grafinė interpretacija

**Fig. 2.24.** Graphical interpretation of renewable energy sources potential passing with the needs indicator R3

Energijos potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiu laiku rodiklis suprantamas kaip dydis, charakterizuojantis tiek perteklinį, tiek trūkstamą energijos potencialo dydį poreikio pasireiškimo metu.

Energijos potencialo prasilenkimas su poreikiu konkrečiame laiko periode vertinamas atskirai pagal poreikių tipą. Suminis poreikių efektas nėra vertinamas.

#### 2.6.4.1. Teorinio energijos potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiame laiko periode nustatymas

Siekiant nustatyti AEI potencialo prasilenkimą konkrečiu laiko periode su sklype formuojamu poreikiu, pirmiausia yra įvertinamas teorinio AEI potencialo suderinamumas su poreikiu. Valandinis R3 rodiklis nustatomas pagal šią formulę:

$$R3_{h,x}(PGR, DLN) = \Delta Q_i, \quad (2.50)$$

čia  $\Delta Q_i$  – teorinio AEI potencialo energijos srauto ir poreikio valandinis skirtumas, kW; galimos ir teigiamos, ir neigiamos reikšmės.

Energijos srauto ir poreikio valandinis skirtumas nustatomas taip:

$$\Delta Q_i = Q_{AEI,h,y} - Q_{P,h,x} \cdot \quad (2.51)$$

Pasirinkto laikotarpio R3 rodiklis nustatomas taip:

$$R3_{p,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i. \quad (2.52)$$

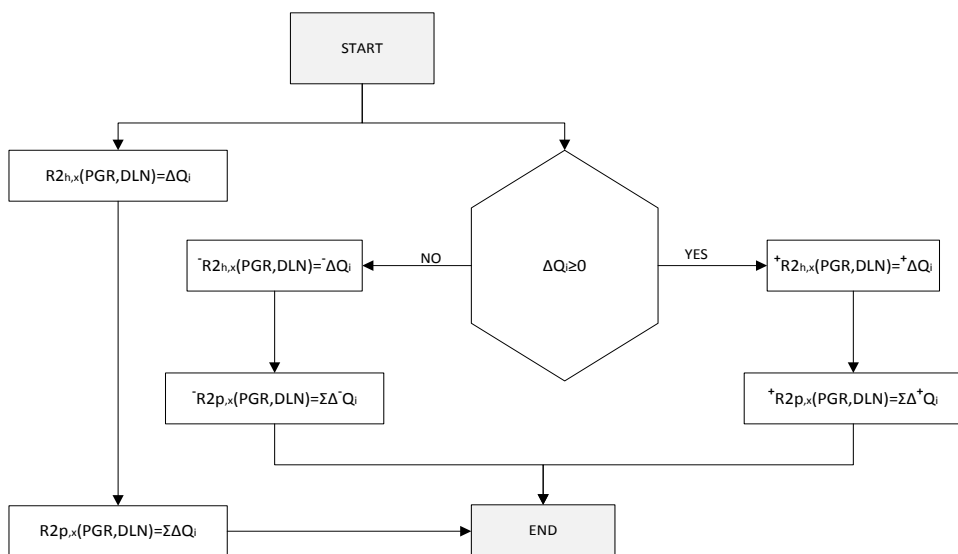
Papildomai nustatomi daliniai pasirinkto laikotarpio R3 rodikliai. Perteklinį potencialą charakterizuojantis  ${}^+R3_{p,x}$  nustatomas taip:

$${}^+R3_{p,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n {}^+\Delta Q_i. \quad (2.53)$$

Trūkstamą energijos potencialą charakterizuojantis  ${}^-R3_{m,x}$  nustatomas taip:

$${}^-R3_{m,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n {}^-\Delta Q_i. \quad (2.54)$$

2.25 paveiksle pateikiamas teorinio AEI potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R3 nustatymo algoritmas. Šis algoritmas rodo rodiklio R3 nustatymo etapus ir logiką. Atliekant skaičiavimus tikrinamos šiame poskyryje aprašytos rodiklio R3 nustatymo sąlygos. Tolesniam vertinimui naudojami sąlygas atitikę skaičiavimo rezultatai.



**2.25 pav.** Teorinio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo valandinio ir pasirinkto laikotarpio rodiklio R3 nustatymo algoritmas

**Fig. 2.25** Algorithm of renewable energy sources theoretical potential hourly and selected period indicator R3 setting

### 2.6.4.2. Techninio energijos potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiame laiko periode nustatymas

Techninio AEI potencialo suderinamumo su poreikiu valandinis  $R'3$  rodiklis nustatomas pagal šią formulę:

$$R'3_{h,x}(PGR, DLN) = \Delta Q_i, \quad (2.55)$$

čia  $\Delta Q_i$  – techninio AEI potencialo energijos srauto ir poreikio valandinis skirtumas, kW; galimos ir teigiamos, ir neigiamos reikšmės.

Energijos srauto ir poreikio valandinis skirtumas nustatomas taip:

$$\Delta Q_i = Q'_{AEI,h,y} - Q_{P,h,x}. \quad (2.56)$$

Metinis  $R'3$  rodiklis nustatomas taip:

$$R'3_{p,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i. \quad (2.57)$$

Papildomai nustatomi daliniai metiniai  $R'3$  rodikliai. Perteklinį potencialą charakterizuojantis  $^+R'3_{p,x}$  nustatomas taip:

$$^+R'3_{p,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n ^+\Delta Q_i. \quad (2.58)$$

Trūkstamą energijos potencialą charakterizuojantis  $^-R'3_{p,x}$  nustatomas taip:

$$^-R'3_{p,x}(PGR, DLN) = \sum_{i=1}^n ^-\Delta Q_i. \quad (2.59)$$

Techninio energijos potencialo prasilenkimo su poreikiu konkrečiame laiko periode rodiklio nustatymo algoritmas atitinka  $R3$  nustatymo algoritmą.

## 2.7. Sklypo energinio potencialo duomenų rinkmenos struktūra

AEI potencialo nustatymo ir technologijų atrankos rezultatams pateikti darbe siūloma pradinių duomenų rinkmena. Rinkmena yra struktūrizuotos informacijos masyvas, leidžiantis pagrįstai pasirinkti tinkamiausią sklypo alternatyvą ir padedantis suformuoti pirminę sklypo technologinę koncepciją. Rinkmena vėliau turi būti perkelta į specializuotas kompiuterinio modeliavimo priemones.

Toliau pateikiami pagrindiniai formuojamos pradinių duomenų rinkmenos rinkmenos skyriai, kuriuose pateikiama sklypo AEI teorinį ir techninį potencialą charakterizuojanti informacija:

- I. Techninė sklypo informacija:
  - a. Sklypo koordinatės;
  - b. Sklypo geometriniai duomenys (matmenys, sklypo konfigūracija);
  - c. Landšafto charakteristikos (pasvirimo kampai, šiurkštumo charakteristikos, pagrindinės kliūtys saulės kelyje ir t. t.).
- II. Meteorologinė sklypo informacija:
  - a. Temperatūra, °C;
  - b. Slėgis, mbar;
  - c. Santykinė drėgmė, %;
  - d. Vėjo greitis, m/s;
  - e. Gūsio greitis, m/s;
  - f. Vėjo kryptis pasaulio šalių atžvilgiu;
  - g. Saulės spinduliuotė,  $W/m^2$ ;
  - h. Kritulių kiekis, mm.
- III. Sklypo atsinaujinančiosios energijos išteklių potencialo informacija:
  - a. Energetinio vertinimo charakteristikos (metų laikotarpio valandinis AEI energijos srautų galios pokytis;
  - b. AEI energijos srautų papildoma techninė informacija (spinduliuotės tipas, spinduliuotės trukmė, vėjo greičiai pagal aukštį, vėjo kryptis, grunto tipai, temperatūra skirtinguose gyliuose ir pan.).
- IV. Santykiniai lyginamieji dydžiai (į kvadratinį metrą sklypo ploto).
- V. Sklype formuojami energijos poreikiai.
- VI. Atsinaujinančiosios energijos prioritetinė eilė.
- VII. Atsinaujinančiosios energijos transformatorių prioritetinė eilė.
- VIII. Rekomenduojamos transformatorių galios ribos.
- IX. Kita informacija:
  - a. Charakteristikų kitimo intervalai;
  - b. Vyraujančios AEI energijos srautų reikšmės;
  - c. Reikšmių išskirtys ir pan.

Priklausomai nuo tolesnio modeliavimo kompiuterinių priemonių naudojimo, duomenys gali būti paruošti programoms tinkamais skaitmeniniais formatais, saugomi centrinėse duomenų bazėse, kurios būtų prieinamos nuotoliniu būdu. Tokiu būdu būtų sukurta centralizuota duomenų bazė. Naudojant jos duomenis būtų kuriami teritorijų žemėlapiai (GIS) su įvesta aktualia AEI informacija.

### 2.7.1. Techninė sklypo informacija

Techninė sklypo informacija yra sklypo fizinį išskirtinumą apibūdinanti informacija. Pagrindiniai jos komponentai yra informacija apie geometrines nagrinėjamo sklypo kontrolinio tūrio ribas ir sklypo fizinės savybes, kurias reikia įvertinti norint gauti prie vietos sąlygų pritaikytus meteorologinius duomenis. Nustačius menamas sklypo kontrolinio tūrio ribas, galima aiškiau identifikuoti kitas svarbias sklypo charakteristikas: pasirinkto gylio grunto sluoksnio tūrį, oro srauto debitą. Sklypo fizinių charakteristikų rinkmena pateikiama 2.8 lentelėje.

**2.8 lentelė.** Sklypo fizinių charakteristikų rinkmena

**Table 2.8.** File of physical characteristics of the site

Charakteristika	Vnt./rezultatas
Sklypo koordinatės	koordinatės
Sklypo plotas	m <sup>2</sup>
Sklypo oro tūris	m <sup>3</sup>
Sklypo grunto tūris	m <sup>3</sup>
Sklypo landšaftas	Apibūdinimas (bendras pasvirimas, kalvotumas)
Albedo (grunto atspindžio koef.)	koef.
Sklype esanti augmenija	Apibūdinimas (miškas, krūmai, žolė)
Gretimų sklypų objektų šešėliai	Šešėlio išklotinė

Sklypo tūrį rekomenduojama nustatyti pagal planuojamą požeminių ir antžeminių inžinerinių komunikacijų galimas įtakos zonas. Pateikiant kaimyninių sklypų metamo šešėlio išklotinę, pateikiami 360 laipsnių horizonte matomų kliūčių gabaritų ribos.

### 2.7.2. Meteorologinė sklypo informacija

Meteorologiniai duomenys, paimti iš duomenų bazės ir pritaikyti prie sklypo vietos sąlygų, savo pirminės struktūros nekeičia, tik įgauna kitas skaitines vertes. Duomenys naudojami nagrinėjant AEI srautų kiekybinius rodiklius. Galutinėje sklypą charakterizuojančioje meteorologinių duomenų rinkmenoje duomenys pateikiami mėnesio trukmės intervalu. Apibendrinta meteorologinių duomenų struktūra pateikiama 2.9 lentelėje.

**2.9 lentelė.** Pirminių atsinaujinančiuosius energijos išteklius charakterizuojančių duomenų rinkmena

**Table 2.9.** File of initial data characterizing renewable energy sources

AE srautas	Charakteristika	Vnt. / rezultatas
Saulės spinduliuotė į horizontalų paviršių	Bendroji	$W/m^2$
	Tiesioginė	
	Bendroji sekama	
	Išsklaidyta	
	Spindulio	
	Saulėtų dienų skaičius	dienos
	Debesuotų dienų skaičius	dienos
	Zenitas (maksimumas)	laipsniai
Vėjas	Vėjo kryptis	„Vėjų rožė“
	Oro srauto greitis (10/20/30/40/50 m. aukštyje)	m/s
Oro šilumos srautas	Temperatūra	t
Grunto šiluma	Grunto sluoksniai	Tipai
	Grunto sluoksnių atskiros šiluminės varžos	$m^2K/W$
	Bendroji grunto varža	$m^2K/W$
	Grunto paviršiaus (1,5 m gylyje) temperatūra	t
	Grunto (100 m gylyje) temperatūra	t
	Gruntinio vandens lygis	m
Papildomos charakteristikos	Santykinė oro drėgmė	%
	Atmosferinis slėgis	Pa

Kaip atskiras šių duomenų priedas galėtų būti naudojamas elektroninis duomenų masyvas, kuriame būtų visų metų valandiniai, o tam tikrais atvejais – ir detalesni meteorologiniai duomenys. Taip pat greta pateikiami sustambinti metiniai vidurkiai.

### 2.7.3. Sklypo atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo informacija

Apibendrinamoji kiekybinio AEI įvertinimo ir statistinio duomenų apdorojimo informacijos rinkmena pateikiama 2.10 lentelėje.

**2.10 lentelė.** Statistinės atsinaujinančiųjų energijos išteklių techninį potencialą apibūdinančios reikšmės

**Table 2.10.** Statistical values describing renewable energy sources technical potential

AEI	Teorinio potencialo vidurkis	Techninio potencialo vidurkis	Mediana	Pirmasis kvartilis (mažųjų reikšmių vidurkis)	Trečiasis kvartilis (didžiųjų reikšmių vidurkis)
Saulės energijos srauto galia, kW					
Vėjo energijos srauto galia, kW					
Geoterminės energijos srauto galia, kW					
Oro šilumos srauto galia, kW					
Bendras teorinis potencialas (LDAE), kW					
Bendras techninis potencialas (LDAE), kW					

Sklypo AEI duomenų rinkmenoje ši informacija būtų pateikiama suvestinės formos. Kaip rinkmenos priedas atliekant tolesnius sklypo energinio plėtojimo ir galimo vertinimo veiksmus turi būti pridedamas ir naudojamas valandiniu žingsniu pateikiamų duomenų failas.

#### 2.7.4. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų techninė informacija

Bendroje sklypo įvesties duomenų rinkmenoje apibendrinamoji technologijų atrankos informacija būtų pateikiama 2.11 lentelės forma.

Tokios pat struktūros informacija būtų pateikiama ir AEI šaltinio bei energijos poreikių suderinamumui perteikti. Greta šios informacijos gali būti pateiktos metų laikotarpių R rodiklių reikšmės, grafinė duomenų interpretacija ir skaitmeninė informacijos rinkmena. Skaitmeninėje versijoje būtų pateikiamos valandiniu žingsniu kintančios R rodiklių reikšmės.



**2.11 lentelė.** Suvestinė technologijų atrankos informacija  
**Table 2.11.** Summary information of technologies selection

Prioritetas	Technologijos panaudojimo paskirtis							
	Patalpų šildymas		Karšto vandens ruošimas		Vėsinimas		Elektros gamyba	
	Techno- logija (PVZ.)	%	Techno- logija (PVZ.)	%	Techno- logija (PVZ.)	%	Techno- logija (PVZ.)	%
1	HA/HW		HA/HW		HA/HW		SE	
2	HGh		HGv		HGv		WE	
3	HGv		HGh		HGh			
4	WE		SE		AC			
5	SW		WE					
6	SE		SC					
7	SC							

Siekiant patogesnio duomenų interpretavimo, gali būti pateikiama grafinė duomenų interpretacija, taip pat kompiuterinėmis informacijos apdorojimo priemonėmis būtų galima nagrinėti technologijų panaudojimo alternatyvas.

## 2.8. Antrojo skyriaus išvados

1. Naudojant prieinamus informacijos šaltinius, parinktos kompiuterinės priemonės ir algoritmas sklype esančių atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo kompleksiniam vertinimui atlikti.
2. Sklypą pasiekiančius energijos srautus pasiūlyta nagrinėti taikant termodinaminės analizės principus. Šiam tikslui pasiekti panaudotas sklypo kontrolinio tūris.
3. Sukurtais matematiniais modeliais įvertinus sklypo kompleksinį AEI teorinį ir techninį potencialą, sukuriamas inžinerinis pagrindas AEI technologijų atrankai.
4. Kaip kompleksinio AEI potencialo vertinimo tęstinumas, sukurtas AEI technologijų ir sklype formuojamų energijos poreikių suderinamumo nustatymo metodas. Nustatant suderinamumą, priklausomai nuo energijos naudojimo paskirties, sudaroma tinkamiausių AEI technologijų eilė.
5. Gautų rezultatų efektyviam perteikimui pasiūlyta pradinių sklypo energetinių parametrų rinkmenos struktūra.



---

## **Sklypo energinį potencialą naudojančių technologijų atrankos rezultatai**

Šiame skyriuje pateikta medžiaga buvo publikuota straipsniuose (Žėkas *et al.* 2011; 2013b; 2013c; 2014).

### **3.1. Vidutinių platumų klimato zonos trijų sklypų energinis įvertinimas**

Tyrimo metodikos pritaikomumui patikrinti buvo atlikta trijų sklypų atvejo analizė. Pasirinkti trys vidutinių platumų klimato zonoje, Lietuvos teritorijoje esantys sklypai. Jų esminės fizinės charakteristikos nurodytos 3.1 lentelėje.

Sklypo kontrolinis tūris: Kontrolinio tūrio geometriniai matmenys (100 x 100 x 52 m) pasirinkti atsižvelgiant į oro erdvės poreikį vėjo jėgainei įrengti, į tai, kad centrinėje sklypo vietoje numatoma gyvenamojo namo statyba,

taip pat į tai, kad kaimyniniams objektams nebūtų sudaryta šešėlių, ir į gruntinio šilumos siurblio kolektoriaus įrengimo gylį.

**3.1 lentelė.** Pasirinktų atvejo analizės sklypų duomenys

**Table 3.1.** Data of case study selected sites

Sklypo Nr.	Vietovės tipas	Sklypo centro koordinatės (WGS)	Sklypo pavadinimas
1.	Atvira, lygi priemiesčio teritorija	54.7917 25.2775	„Lygus“
2.	Pajūrio zonoje, miškingoje vietoje esanti teritorija	55.7486 21.088	„Prie jūros“
3.	Miesto teritorija mažaaukščių namų vietovėje	54.6286 25.2512	„Miestas“

3.1–3.3 paveiksluose pateiktas palydovinis sklypų vaizdas.



**3.1 pav.** Sklypo „Lygus“ vaizdas iš palydovo (šaltinis <https://www.google.lt/maps/>)

**Fig. 3.1.** Site „Flat“ satellite image (source <https://www.google.lt/maps/>)



**3.2 pav.** Sklypo „Prie jūros“ vaizdas iš palydovo (šaltinis <https://www.google.lt/maps/>)

**Fig. 3.2.** Site „At site“ satellite image (source <https://www.google.lt/maps/>)

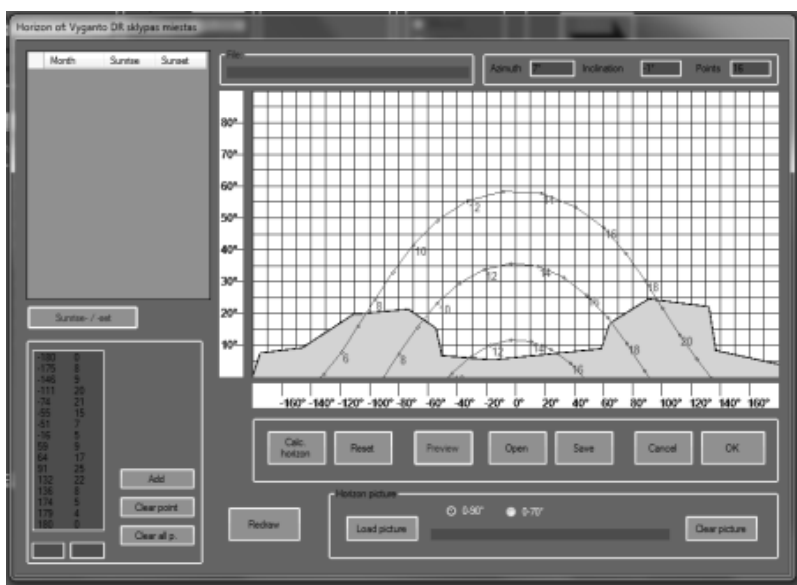


**3.3 pav.** Sklypo „Miestas“ vaizdas iš palydovo (šaltinis <https://www.google.lt/maps/>)

**Fig. 3.3.** Site „City“ satellite image (source <https://www.google.lt/maps/>)

Skaičiavimams reikalingi duomenys paimami iš kompiuterine programa METEONORM sugeneruotų meteorologinių duomenų masyvo. Pasirinktos vietovės meteorologiniai duomenys interpoliacijos būdu sugeneruojami pagal artimiausių meteorologinių stočių pateiktus realius duomenis (ilgamečius vidurkius). Centriniam sklypo taške sugeneruoti meteorologiniai duomenys priimami kaip viso sklypo energetinę būklę atspindintys reikšmių vidurkiai. Suprantama, kad detalesniam AEI potencialui nustatyti reikalingas viso tūrio apimties erdvinis kompiuterinis srautų modeliavimas ir kad vietos kliūtys (augmenija, teritorijos nelygumas ir pan.) tokios apimties sklype veikia srautų dinamiką, tad ji turi būti detalizuota pritaikant kompiuterinio modeliavimo įrankius. Šiame darbe aplinkos įtaka detaliau nevertinama. Visi skaičiavimai atlikti „MS Office“ programinio paketo „Excel“ programa. Atskirai matematiniai modeliai išplėtoti programavimo kalba C++.

Dviem skaičiavimo atvejais („Prie jūros“ ir „Miestas“) programoje METEONORM sumodeliuojamas šešėlių profilis (3.4 pav.).



**3.4 pav.** 360 laipsnių šešėlių profilis programoje METEONORM  
**Fig. 3.4.** 360 degrees shadows' profile in program METEONORM

Šešėlių suformavimas leidžia įvertinti aplinkos įtaką į sklypą patenkančių energijos srautų kiekybiniais parametrams.

Tollesniuose skyriuose pateiktas visų trijų sklypų bendrojo AEI potencialo vertinimas metų laikotarpiu, sezonais ir detalus vieno sklypo vertinimas.

## 3.2. Trijų sklypų teorinio energijos išteklių potencialo įvertinimo rezultatai

Visi sklypai nagrinėti taikant tokias pat kontrolinio tūrio geometrines ribas. Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti grafine ir skaitine forma.

Nustatytas metinis LDAE rodiklis nagrinėjamais atvejais yra pateiktas 3.2 lentelėje.

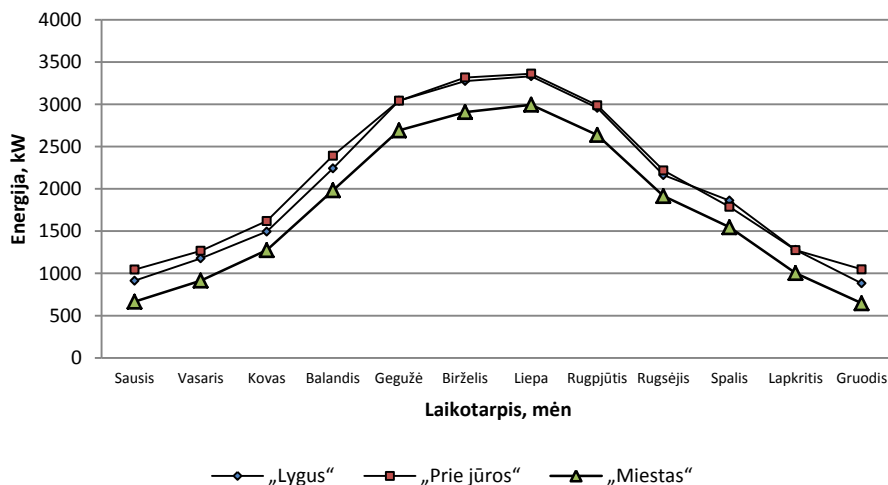
**3.2 lentelė.** Trijų sklypų lokaliai esančių atsinaujinančių energijos išteklių rodiklis (LDAE)

**Table 3.2.** Local disposable renewable energy indicator (LDAE) of three sites

Sklypo Nr.	Sklypo pavadinimas	LDAE, kW	Skirtumas, %
1.	„Lygus“	2052	116
2.	„Prie jūros“	2114	120
3.	„Miestas“	1765	-

Skaičiavimų rezultatai patvirtino tai, kad atvirose erdvėse ir arčiau jūros atsinaujinančiosios energijos yra daugiau. Analizuoto pajūrio sklypo bendras AEI potencialas yra didesnis apie 20 %, o atviro sklypo – apie 16 %.

LDAE dinamika metų laikotarpiu pavaizduota 3.5 paveiksle.



**3.5 pav.** Trijų pasirinktų sklypų metinė atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo dinamika

**Fig. 3.5.** Annual renewable energy sources potential dynamics of three selected sites

Kaip matyti iš metinės dinamikos grafikų, visuose trijuose sklypuose yra ta pati kitimo tendencija – minimalus energijos potencialas žiemą, staigus pavasario laikotarpio energijos potencialo kilimas ir lėtas rudens.

Įvertintas procentinis trijų sklypų potencialo reikšmių išsibarstymas pateiktas 3.3 lentelėje. Lentelėje sklypai lyginami su mažiausia potencialą turinčio sklypo „Miestas“ rodikliu LDAE.

**3.3 lentelė.** Sklypų lokaliai esančių atsinaujinančios energijos išteklių rodiklio (LDAE) palyginimas su „Miesto“ alternatyva

**Table 3.3.** Comparison of locally disposable renewable energy sources indicator (LDAE) of sites with “City” alternative

Palyginimo atvejais	Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis
3-1	137	129	117	113	113	113	111	112	113	120	127	136
3-2	157	139	127	121	113	114	112	113	116	116	127	162

Pastabos: „3-1“ ir „3-2“ reiškia sklypų palyginimo atvejus „Miesto“ alternatyvą lyginant su atitinkamai „Lygaus“ ir „Prie jūros“.

Kaip matyti, labiausiai skiriasi šaltojo periodo potencialas – „Miesto“ alternatyvos LDAE, palyginti su sklypo „Prie jūros“ LDAE, yra 50–60 % mažesnis. Tačiau vasaros laikotarpiu trijų sklypų potencialo skirtumas yra 10–20 %.

Skaitinė trijų sklypų informacija, detalizuojant LDAE potencialą iki jo sudedamųjų dalių, pateikta 3.4 lentelėje.

**3.4 lentelė.** Trijų sklypų disponuojamas atsinaujinančių energijos išteklių potencialas

**Table 3.4.** Renewable energy sources potential disposable at three sites

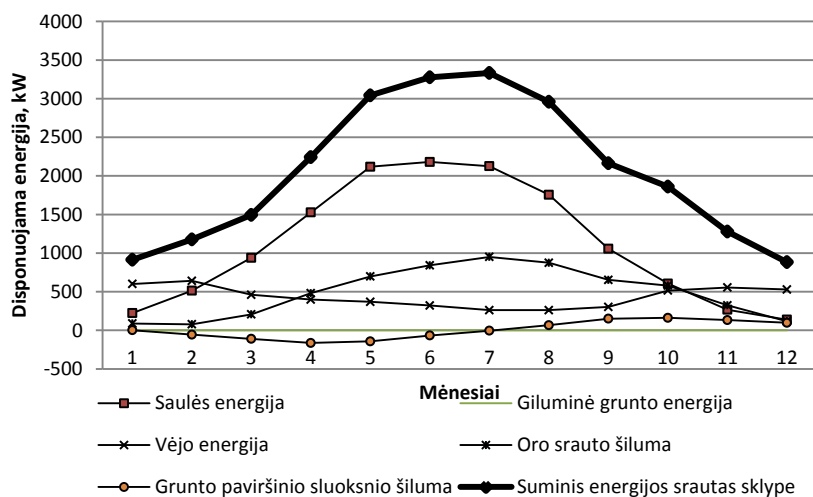
Sklypo variantas	Saulės energija	Giluminė grunto energija	Vėjo energija	Oro srauto šiluma	Grunto paviršinio sluoksnio šiluma	LDAE potencialo metinis vidurkis
	W/m <sup>2</sup>					
„Lygaus“	112	0,05	43	49	0,53	205
„Prie jūros“	114	0,05	41	56	0,26	211
„Miestas“	112	0,05	25	38	0,47	177

Kaip matyti iš palyginimo rezultatų, suminis potencialas yra 177–205 W/m<sup>2</sup>: mieste potencialas mažiausias, prie jūros didžiausias. „Miesto“ sklypo praktiškai visų LDAE potencialo dedamųjų reikšmės yra mažiausios.

### 3.3. Vieno sklypo teorinio energijos išteklių potencialo detali analizė

#### 3.3.1. Metinė teorinio energijos išteklių potencialo dinamika

Priemiesčio sklypo „Lygus“ disponuojamos AEI energijos dinamika per metus pavaizduota 3.6 paveiksle. Dėl skirtingo oro srauto energijos masto, oro srauto vertės pažymėtos papildomoje Y ašyje – taip neprarandama galimybė įvertinti bendrą srautų kitimo dinamiką.



**3.6 pav.** Sklypo „Lygus“ metų laikotarpio bendroji atsinaujinančiųjų energijos išteklių energijos srautų dinamika

**Fig. 3.6.** Site „Flat“ general Renewable energy sources energy flows dynamics of year period

Remiantis gautais tyrimo duomenimis, galima konstatuoti, jog didžiausias energijos potencialas (3332 kW) yra vasaros laikotarpiu. O šaltuoju metų laikotarpiu energijos srautas yra palyginti nedidelis – apie 25 % maksimalių energijos kiekio reikšmių (apie 900 kW). Šiuo laikotarpiu saulės ir oro šiluminės



energijos srautai įgyja minimalias reikšmes, o vėjo, priešingai, maksimalias. Oro ir saulės energijos srautų šildomo grunto paviršiaus šiluminio laidumo būdu perduodamas energijos kiekis į gilesnius grunto sluoksnius vėluoja priklausomai nuo pasirinkto gylio. Skaičiavimo atveju, t. y. 2 m gylyje, tik rudenio gruntas pradeda atiduoti sukauptą šilumą aplinkai, o iki tol ją nuolat kaupia. Pastebėta, kad saulės energijos srautas yra pasiekiamas anksčiau nei oro energijos potencialo maksimumas, tačiau rudenio šie energijos srautai lygiagrečiai mažėja.

Didžiausias vėjo potencialas (apie 600 kW) yra šaltuoju metų laikotarpiu ir link vasaros tik mažėja. Vėjo energijos srautas šaltuoju metu laiku pagal reikšmę yra vyraujantis AEI srautas sklype.

Pažymėtina, kad tiek grunto, tiek vėjo energijos srautai visus metus yra pakankamai stabilūs, be išskirtinių energijos kiekio nuokrypių, todėl sezoniniai akumuliacinio reiškiniai turi būti vertinami tik kalbant apie saulės ir oro energijos srautų panaudojimą.

Oro šilumos potencialo metinis vidurkis (491 kW), kaip atskiro energijos srauto potencialo vidurkis bendrame AEI sraute (3332 kW), sudaro apie 15 % viso disponuojamo energijos srauto potencialo. Tradiciškai nustatant AEI potencialą, oro srautas laikomas tik energijos perdavimo priemone ir į skaičiavimus neįtraukiamas, tačiau dėl vis populiarėjančio technologinio prieinamumo įsisavinti ore esančią šiluminę energiją (pvz., naudojant orinius šilumos siurblius) oro srautas turėtų būti laikomas vienu iš AEI.

3.5 lentelėje pateikiami suvestiniai atskirų energijos srautų ir bendro LDAE potencialo rodikliai.

**3.5 lentelė.** Sklypo lokaliai esančių atsinaujinančios energijos išteklių indikatorius (LDAE) dedamųjų charakteristikos

**Table 3.5.** Characteristics of locally disposable renewable energy indicator (LDAE) components of the site

Disponuojama AEI sklypo energijos metiniai vidurkiai						
Vidurkis	Saulės energija, kW	Giluminė grunto energija, kW	Vėjo energija, kW	Oro srauto šiluma, kW	Grunto paviršinio sluoksnio šiluma, kW	Suminis energijos srautas sklype, kW
	1121	0,45	434	491	5,34	2052
Lyginamieji energijos srautų sklypo ploto kvadratiname metre rodikliai						
Lyginamieji rodikliai, W/m <sup>2</sup>	112	0,05	43	49	0,53	205
Procentinis svoris, %	55	0,02	21	24	0,26	

Iš diagramos matyti, kad pagrindinę energijos dalį sudaro saulė – 55 %, dvigubai mažesnę dalį – vėjas (21 %) ir oro šiluma (24 %). Grunto šilumos sukuriamas metinis potencialas šiuo atveju sudaro apie 1 %. Tačiau nuo teorinio AEI lygmens pereinant į technologinį lygį, grunto energijos potencialas dėl savo sezoniškumo ir „vėluojančio“ šilumos atidavimo aplinkai turėtų būti suprantamas daugiau kaip balansinė šilumos mainų priemonė, t. y. laikinasis energijos akumuliacija. Šiltuoju metu grunte sukaupia energija šaltuoju metų laiku yra atiduodama aplinkai, todėl metinis potencialas yra arti nulio (priklausomai nuo metinio temperatūrų balanso skirtingais sezonais). Taigi grunto energijos metinio potencialo vertinimas yra netikslingas ir turi būti siejamas tik su sezoniniu potencialo nustatymu ir sezoniniu potencialo išnaudojimu. Gilioji grunto energija, jei vertintume tik nuolatinį, nuolat atsinaujinantį energijos srautą, sudaro tik 0,02 %. Šis nereikšmingas nuolatinis srautas gali būti laikomas įtakos neturinčiu sklype disponuojamos energijos potencialo srautu, vertingu nagrinėjant tik ilgamečius grunto sluoksnio energijos balanso atkūrimo reiškinius.

Kaip matyti iš tyrimo rezultatų, žemyninėje dalyje esančiame lygiame sklype reikšminiai energijos srautai yra saulės ir vėjo energijos srautai. Prie jų taip pat galima priskirti oro šilumos srauto energiją, kuris savo apimtimi yra artima vėjo energijos potencialui.

Grunto energija, vertinant metų laikotarpio mastu, yra nereikšminga bendro AEI potencialo dedamoji.

Įvertinus galimos veiklos sklype energetinių paslaugų sezoniškumą, kaitą ir mastą, galimos įvairios sklypą pasiekiančios energijos absorbavimo variacijos. Jos pirmiausia priklauso nuo technologijų prieinamumo ir gebėjimo įsisavinti atitinkamos rūšies AEI kiekį. Esant galimybei panaudoti šilumos siurblius būtina įvertinti tiek oro, tiek grunto šiluminį potencialą.

### **3.3.2. Teorinio išteklių potencialo sezoniškumo įvertinimas**

Kaip matyti iš 3.6 paveiksle pateikto AEI potencialo kitimo grafiko, potencialo dydis atitinka aplinkos oro temperatūros kitimą metų laikotarpiu, t. y. žiemą, kai temperatūra neigiama, AEI srautas mažiausias, o vasarą, kai aplinkos temperatūra didžiausia, didžiausias ir AEI potencialas. Greta šių ribinių laikotarpių yra pereinamieji – pavasario ir rudens – laikotarpiai. Energijos vartotojui žiemą reikia šilumos, o vasarą – vėsos. Pereinamaisiais laikotarpiais, priklausomai nuo vartotojo aplinkos šiluminio inertiškumo, reikia arba šilumos, arba vėsos, arba tiek vieno, tiek kito. AEI srautų dinamikoje nėra aiškių virsmo taškų, kurie padėtų atskirti šiuos laikotarpius. Bendruoju atveju šiltojo ir šaltojo laikotarpių atskyrimas yra reglamentuojamas, nurodomos atitinkamos sezono

pradžios ir pabaigos datos. Skirtingose klimato juostose, netgi tos pačios šalies regionuose šios datos gali būti ir yra skirtingos. Dėl AEI potencialo dinamikos panašumo su aplinkos temperatūros kitimu, vertinant pavienio sklypo AEI potencialą įvairiais metų laikotarpiais, metus galima suskirstyti į įprastus keturis metų laikus. Atsižvelgiant į tai, kad AEI panaudojimas yra orientuotas į gyvenamojo namo energetinių poreikių užtikrinimą, vertinant atitinkamoje šalyje ar regione esančio sklypo AEI potencialą laikotarpių pradžios ir pabaigos datos gali būti priimtos pagal vietinį reglamentą. Skaičiavimo atveju sezonų lūžio taškai pateikti 3.6 lentelėje.

**3.6 lentelė.** Metų laikotarpio skirstymo į sezonus ribos

**Table 3.6.** Limits of year period division into the seasons

Akumuluotas srautas, kW	Proc. dalis	Lūžio data, mėn.d.	Metų diena	Lūžio reikšmė
93843	25	3.26	85	Žiemos pabaiga / pavasario pradžia
281528	75	6.4	155	Pavasario pabaiga / vasaros pradžia
469214	125	7.31	212	Vasaros pabaiga / rudens pradžia
656899	175	10.15	288	Rudens pabaiga / žiemos pradžia

Akumuluoto srauto vidurinė reikšmė šiuo atveju – 375371 kW.

Remiantis Lietuvos statybinės klimatologijos duomenimis, Vilniaus užmiesčiui projektiniu atveju yra taikoma balandžio 24 diena – pavasario pereigos data – ir spalio 7 diena – rudens pereigos data. Kaip matyti, gauti rezultatai yra artimi projektiniam atvejui ir labiau perteikiantys svorinį energijos kiekio pokyčio tašką. Šio atvejo analizė parodė, kad birželis ir liepa yra šiltojo laikotarpio mėnesiai, kada tikėtini tik šilumos ir elektros poreikiai.

Turint detalesnę atskirų metų laikotarpių AEI potencialo kitimo informaciją, galima racionaliau planuoti technologinį AEI transformatorių derinį, galintį efektyviau panaudoti sklype disponuojamą energijos kiekį. Sezoniniai potencialo kitimo rodikliai pateikti 3.7 lentelėje.

Šaltasis laikotarpis – žiema. Žiema – šaltasis metų laikas, kada didžiausias yra šildymo poreikis – didžiausias potencialas 538 kW yra iš vėjo energijos; nuo rudens mažėjęs, pavasario link sklypą pasiekia vis didesnis saulės energijos srautas; paviršinis grunto sluoksnis vasaros laikotarpiu sukaupęs šilumą ir

pradėjęs ją spinduliuoti į aplinką rudenį, žiemos laikotarpiu nuolat vėsta; oro potencialas didžiąją sezono dalį turi neigiamą reikšmę, kas rodo, kad praeinantis oro srautas absorbuoja iš grunto paviršiuje ar kituose aplinkos kūnuose sukauptą energiją. Šio laikotarpio suminis sklypą pasiekiančios AEI potencialas yra mažiausias, t. y. 1145 kW.

**3.7 lentelė.** Teorinio atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo vidutinės reikšmės skirtingais sezonais

**Table 3.7.** Average values of renewable energy sources theoretical potential at different seasons

Suvestiniai sezoniniai rodikliai					
Saulė, kW	Gruntas, kW	Vėjas, kW	Oras, kW	Grunto paviršius, kW	Suminis, kW
Žiema					
388	0,45	538	181	37	1145
Pavasaris					
1819	0,45	424	594	-152	2686
Vasara					
2151	0,45	289	889	-33	3296
Ruduo					
1284	0,45	326	769	113	2493

Pereinamasis į šiltąjį laikotarpis – pavasaris. Pavasaris – laikotarpis, kada dar reikia šilumos šildymui ir palaipsniui pereinama į vėsos poreikius – aktyvus saulės energijos srauto didėjimas, nuo minimalių iki praktiškai maksimalių reikšmių, t. y. 2151 kW; drauge šylant aplinkos paviršiams, formuojantis šiltoms oro masėms, vėluojantis nuo saulės oro šiluminio potencialo augimas – nuo 181 kW iki 594 kW; rimstantis vėjas ir per visus metus labiausiai atvėsęs paviršinis grunto sluoksnis. Šio laikotarpio suminis sklypą pasiekiančio AEI energijos srauto potencialas yra 2686 kW, arba apie 80 % maksimalaus potencialo.

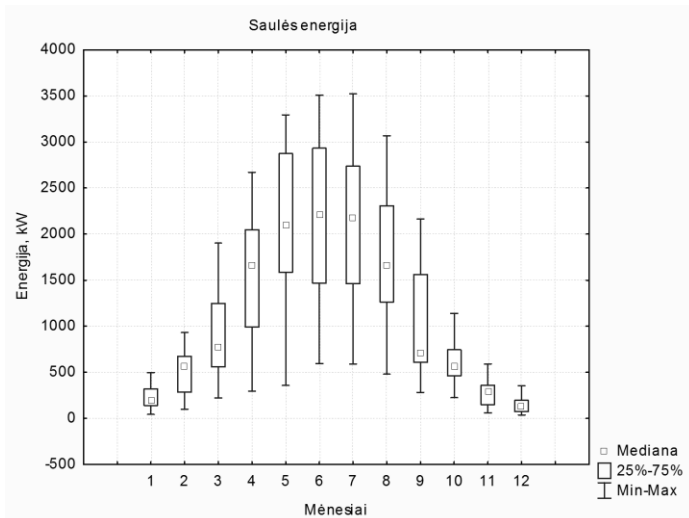
Šiltasis laikotarpis – vasara. Vasara – laikotarpis, kada pagrindinis energijos poreikis – vėsa. Dominuojantys, didelio šiluminio potencialo, saulės ir oro energijos srautai, yra atitinkamai 2151 kW ir 889 kW; minimalios (289 kW) metų laikotarpio vėjo energijos vidurkių reikšmės; saulės spindulių šildomas bei pratekančio šilto oro apiplaunamas šylantis paviršinio grunto sluoksnis nuo absorbuojančio šilumą pereiną į atiduodantį sukauptą šilumą. Šio laikotarpio suminis sklypą pasiekiančios AEI potencialas yra maksimalus, t. y. 3296 kW.

Pereinantis į šaltąjį laikotarpis – ruduo. Ruduo – laikotarpis, kuriuo aplinkos oras pasiekia neigiamą temperatūrą ir prasideda šildymas. Lygiagrečiai mažėja saulės ir oro energijos potencialai. Didžiausias grunto sluoksnio šiluminis potencialas – 113 kW ir auga vėjo energijos kiekis – nuo minimalios metų vidurkio reikšmės iki praktiškai maksimalios, t. y. 500 kW. Ir kaip matyti iš skaičiavimo rezultatų, rudenį, skirtingai nei pavasarį, saulės energijos potencialas sumažėja beveik perpus – nuo 2151 kW iki 1284 kW. Paviršinio grunto sluoksnis nuo šilumą absorbuojančio pasikeičia į maksimaliai sukaupą šilumą atiduodantį aplinkai. Šio laikotarpio suminis sklypą pasiekiančios AEI potencialas yra artimas pavasario laikotarpio vidurkiui – 2493 kW.

Sezoniškumo vertinimas ir atskirų sezono LDAE potencialo reikšmių identifikavimas leidžia racionaliau parinkti inžinerines sistemas, skirtas veikti atitinkamu režimu ar apkrova tam tikrą sezono dalį.

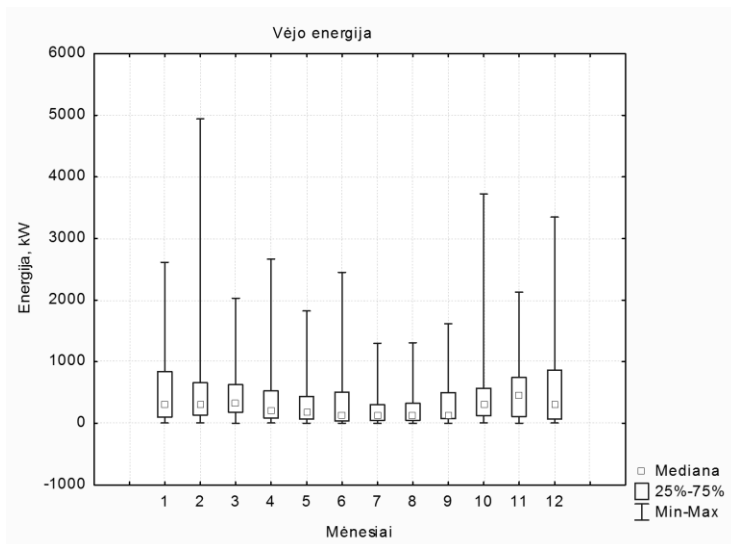
### 3.3.3. Išteklių potencialo statistinis įvertinimas

Statistinis skaičiavimo duomenų įvertinimas buvo atliktas kompiuterine programa STATISTICA. Skaičiavimai atlikti naudojant valandinį duomenų žingsnį. Įvertinimo rezultatai rodo savitą atskirų AEI srautų charakteristikų dinamiką. 3.7–3.10 paveiksluose pateikiamos mėnesinės minimalios, maksimalios ir vidurinės (medianos) srautų galios reikšmės. Greta pateikiamas ir apatinis bei viršutinis kvartilai.



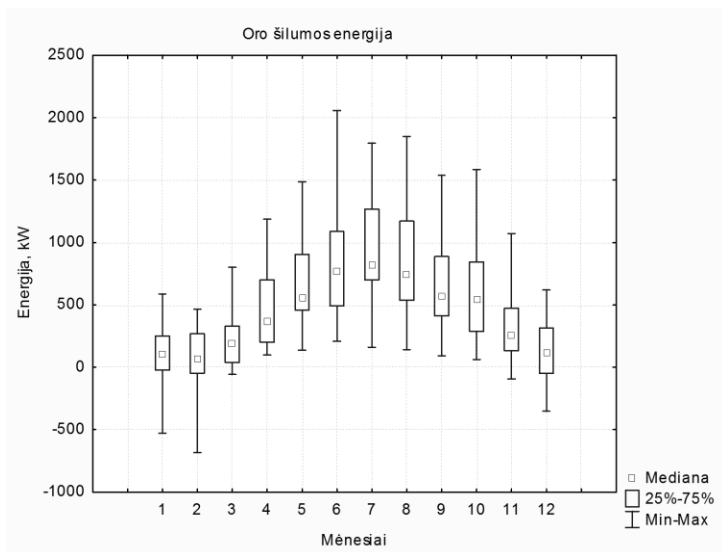
**3.7 pav.** Saulės energijos srauto statistinės charakteristikos: mediana, minimalios, maksimalios reikšmės ir kvartilai

**Fig. 3.7.** Solar energy flow statistical characteristics: median, minimum, maximum values and quartiles



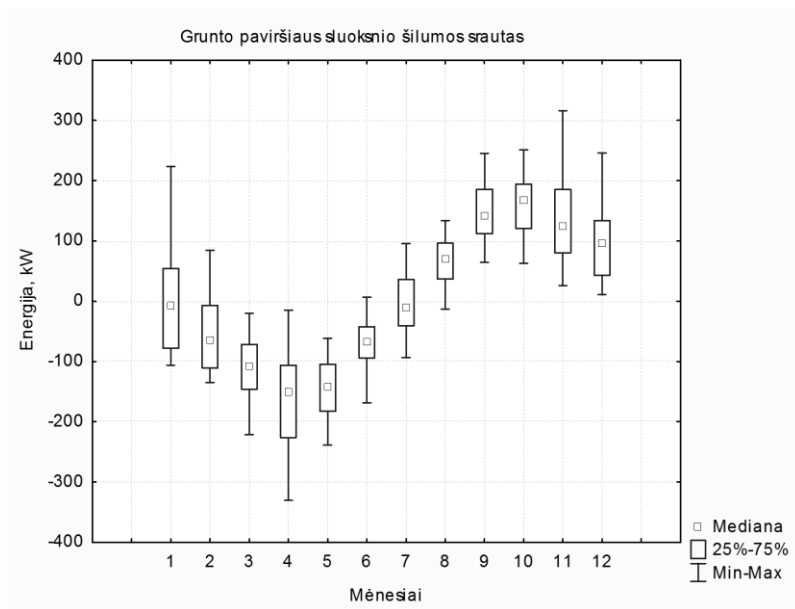
**3.8 pav.** Vėjo energijos srauto statistinės charakteristikos: mediana, minimalios, maksimalios reikšmės ir kvartilai

**Fig. 3.8.** Wind energy flow statistical characteristics: median, minimum, maximum values and quartiles



**3.9 pav.** Oro šilumos srauto statistinės charakteristikos: mediana, minimalios, maksimalios reikšmės ir kvartiliai

**Fig. 3.9.** Air heat flow statistical characteristics: median, minimum, maximum values and quartiles



**3.10 pav.** Paviršiaus grunto šilumos srauto statistinės charakteristikos: mediana, minimalios, maksimalios reikšmės ir kvartiliai

**Fig. 3.10.** Surface ground heat flow statistical characteristics: median, minimum, maximum values and quartiles

Kaip rodo pateiktos statistinių charakteristikų kitimo kreivės, skirtingiems AEI srautams būdinga savita reikšmių kitimo dinamika. Saulės energijos didžiausias kiekis būna vėlyvą pavasarį, vėjo energijos maksimumas – žiemos laikotarpiu, o oro šilumos ir grunto energija savo maksimumą pasiekia vasaros pabaigoje. Vidutinės reikšmės 25–75 % kartotinumui ribose (tarpkvartilinis plotis – 746 kW) labiausiai išsibarsčiusios yra saulės energijos atveju (vertinant tradicinius AEI srautus), 34 % mažesnis vidutinių reikšmių išsibarstymas vėjo energijos sraute ir mažiausias išsibarstymas (87 kW) yra grunto šilumos srauto atveju (3.8 lentelė). Šis reikšmių išsibarstymas charakterizuoja energijos srauto pastovumą. Atvejo analizės skaičiavimai rodo, kad saulės energiją transformuojanti sistema turėtų veikti plačiausiu diapazonu. Modeliuojant energijos transformatorių, racionalu parinkti tokią transformavimo sistemą, kad jos efektyvumas didžiausias būtų kvartiliais apribotų reikšmių diapazone. Kaip

matyti, vėjo srauto atveju yra aiški pavienių gūsių įtaka. Tą taip pat parodo vidurkio ir medianos reikšmių prasilenkimas (434 kW vidurkis ir 243 kW mediana). Modeliuojant vėjo panaudojimą, į šią srauto savybę būtina atsižvelgti. Grunto sluoksnio energija dėl grunto sluoksnio didelio šiluminio inertiškumo ir laikino akumuliacinio reiškinio išlieka stabiliausias energijos srautas.

**3.8 lentelė.** Statistinės atsinaujinančiųjų energijos išteklių energijos srautų charakteristikos

**Table 3.8.** Statistical characteristics of renewable energy sources flows

AEI/statistika	Vidurkis	Mediana	Min	Max	Apatinis kvartilis	Viršutinis kvartilis	Tarpkvartinis plotis	Standartinis nuokrypis
Saulės energija, kW	1121	1088	274	1970	754	1500	746	483
Vėjo energija, kW	434	243	4	2496	90	575	486	557
Oro šilumos srautas, kW	491	425	-68	1254	261	708	447	326
Paviršinis grunto sluoksnis, kW	5	4	-95	126	-40	46	87	58
Suminis srautas, kW	2052	1908	708	4934	1333	2536	1203	996

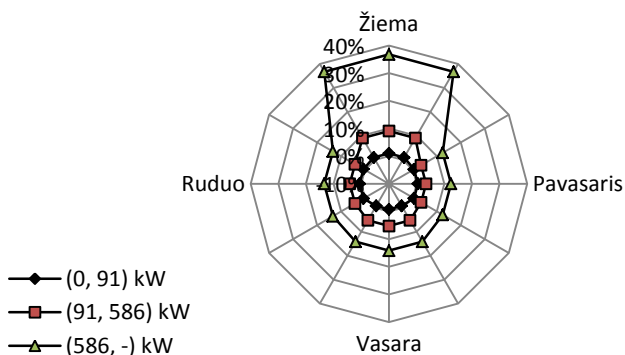
Apatinis ir viršutinis kvartiliai šiuo sprendimo etapu leidžia suskirstyti energijos srautą į dvi dalis: 0–50 % reikšmių; 50–100 % reikšmių. Taip gaunamos dvi medianos: mažųjų galių zonos (0–50 %) mediana (apatinis kvartilis) ir didžiųjų galių zonos (50–100 %) mediana (viršutinis kvartilis). Turint šias medianas galima racionaliau parinkti tam tikrą sezoną ar visus metus efektyviau veikiančią AEI energijos transformatorių.

#### *Energinio vertinimo srauto reikšmių vidurkiai ir jų kartotinumai*

Siekiant geriau pažinti sklypą pasiekiančią AEI potencialą, analizuojamas AEI energijos galių svorinis pasiskirstymas skirtingais sezonais. Gauti atskirų AEI srautų duomenys pagal kartotinumą skirstomi į tris dalis: minimalios srauto galios reikšmės (reikšmės iki apatinio kvartilio), vidutinės (į tarpkvartinį plotį patenkančios reikšmės) ir maksimalios (srauto reikšmės virš viršutinio kvartilio). Šiai informacijai perteikti sudaromi specifiniai duomenų pateikimo grafikai (3.11–3.14 pav.). Metų laikotarpį sudaro 360 laipsnių apskritimas, padalytas į

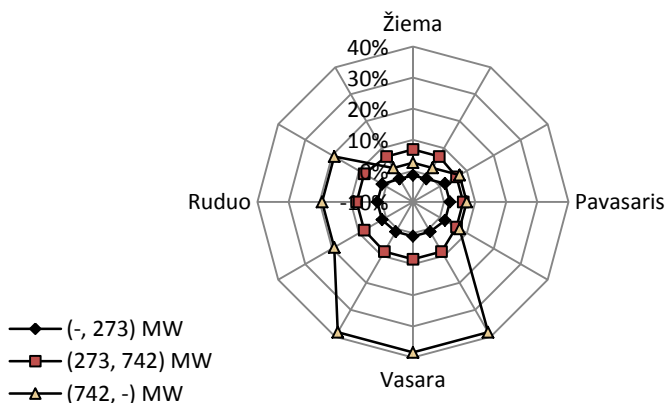


keturias dalis, atitinkančias minėtąjį sezoniškumą. Duomenys tokiame grafike išdėstomi pagal suminį energijos srautą, sugeneruotą atitinkamoje dalyje, procentais nuo bendro energijos kiekio. Toliau pateiktų grafikų pagrindinis privalumas yra tas, kad taip pateikta informacija leidžia suprasti kokioms galios reikšmėms esant AEI transformatorius sugeneruotų didžiausią energijos kiekį ir kuriuo metų laikotarpiu tai galėtų būti.



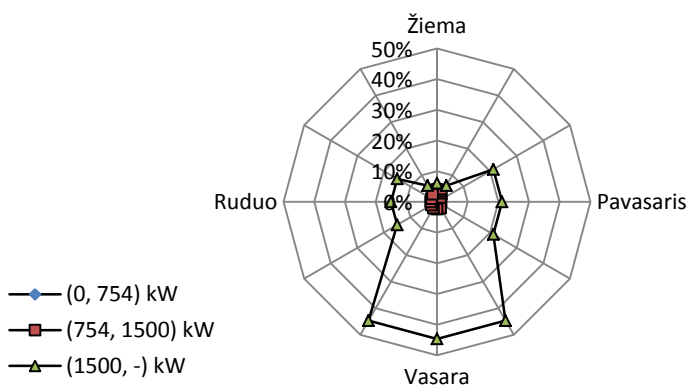
**3.11 pav.** Vėjo energijos potencialo reikšmių pasiskirstymas pagal jų kartotinumą skirtingais sezonais

**Fig. 3.11.** Wind energy potential values division under their repeatedness in different seasons



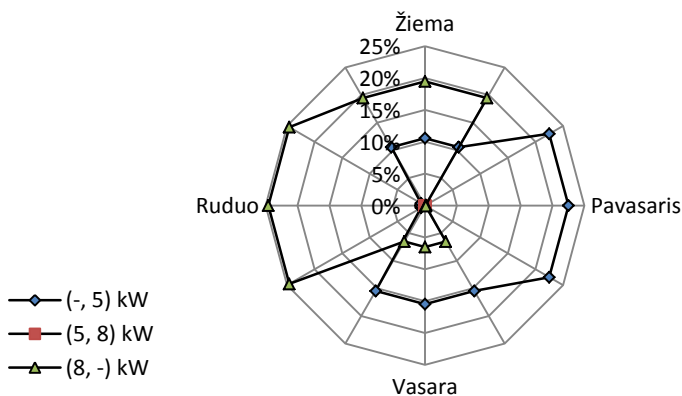
**3.12 pav.** Oro šilumos potencialo reikšmių pasiskirstymas pagal jų kartotinumą skirtingais sezonais

**Fig. 3.12.** Air heat potential values division under their repeatedness in different seasons



**3.13 pav.** Saulės energijos potencialo reikšmių pasiskirstymas pagal jų kartotinumą skirtingais sezonais

**Fig. 3.13.** Solar energy potential values division under their repeatedness in different seasons



**3.14 pav.** Grunto paviršiaus šilumos potencialo reikšmių pasiskirstymas pagal jų kartotinumą skirtingais sezonais

**Fig. 3.14.** Ground surface heat potential values division under their repeatedness in different seasons

Kaip rodo gauti atvejo analizės rezultatai, iki 45 % sklypą pasiekiančio saulės energijos srauto sudaro energijos srautas vasarą, kurio galia viršija vidutinę galios reikšmę (1500 kW).

Vėjo energija visus metus sklypą pasiekia didžiųjų galių diapazone, tačiau energijos srautas yra chaotiškas ir pagrindinis energijos kiekis sugeneruojamas pavienių ekstremalių vėjo gūsių metu. Sprendžiant nuoseklaus apsirūpinimo

vėjo energija uždavinį, tikslinga rinktis mažųjų galių diapazoną, o tai sudaro tik iki 5 % bendro vėjo energijos srauto.

Oro srauto energija (artima vidutinėms) sklypą pasiekia ištisus metus, tačiau, kaip ir vėjo energijos atveju, tai bendrame energijos sraute sudaro mažąją dalį, t. y. iki 10 % bendro oro energijos srauto. Ruduo oro srauto energijos atveju yra charakteringas, nes, kitaip nei pavasarį, rudenį sklypą pasiekia didesnis energijos srautas (iki 20 %).

Grunto energijos srauto skaičiavimai rodo, kad didžiausia nauda (25 % bendro energijos srauto) yra rudenį, kada grunto sluoksnis šiltuoju metu laiku sukauptą energiją pradeda spinduliuoti į vėstančią aplinką.

### 3.4. Trijų sklypų techninio energijos išteklių potencialo vertinimo rezultatai

Atvejo analizėje trijų sklypų techninio potencialo nustatytos reikšmės pateiktos 3.9 lentelėje. Lentelėje pateikiamos vidutinės metinės technologinio potencialo reikšmės.

**3.9 lentelė.** Trijų sklypų atsinaujinančiųjų energijos išteklių techninio potencialo įvertinimo vidutinės reikšmės

**Table 3.9.** Average values of technical renewable energy sources potential evaluation of three sites

Nr.	Technologija	Trijų sklypų vidutinė metinė galia, kW			
		„Lygus“	„Prie jūros“	„Miestas“	
Saulės kolektoriai					
1		Patalpoms šildyti	3397	3325	3338
2		Karštam vandeniui ruošti	3140	3062	3082
3	Adsorbcinis vėsinimo įrenginys	Vėsinimui	0,04	0,04	0,04
4	Saulės fotoelementai	Išskyrus vėsinimą	245	250	246
5	Vėjo jėgainė	Išskyrus vėsinimą	28	27	23
Gruntinis šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi					
6		Patalpoms šildyti	2,02	2,02	2,02
7		Karštam vandeniui ruošti	2,70	2,70	2,70
8		Vėsinimui	64	64	64

3.9 lentelės pabaiga

End of table 3.9

Gruntinis šilumos siurblys su horizontaliu kolektoriumi					
9		Patalpoms šildyti	201	205	213
10		Karštam vandeniui ruošti	271	277	287
11		Vėsinimui	40	40	40
Orinis šilumos siurblys					
12		Patalpoms šildyti	6,13	6,14	4,61
13		Karštam vandeniui ruošti	8,49	7,54	6,27
14		Vėsinimui	5,89	6,05	4,46
15	Nepratakus saulės kolektorių	Patalpoms šildyti	6,13	6,14	4,61

Nustatytas techninis potencialas negali būti sumuojamas, nes nagrinėjant atskiras technologijas nebuvo vertinama galima vienos technologijos fizinė įtaka kitai. Pvz., apstačius sklypą saulės kolektoriais, apstatyti saulės fotoelementais jo jau nebebūtų galima.

Gauti techninio potencialo nustatymo rezultatai rodo, kad didžiausias techninis potencialas yra saulės energiją naudojančios technologijos (3,3–3,4 MW patalpų šildymo ir 3,0–3,2 MW karšto vandens ruošimo atvejais). Toliau techninio potencialo mažėjimo tvarka nurodomi pirmi penki prioritetiniai technologiniai sprendiniai:

1. Saulės kolektorių šiluma patalpoms šildyti.
2. Saulės kolektorių šiluma karštam vandeniui ruošti.
3. Gruntinis šilumos siurblys karštam vandeniui ruošti.
4. Saulės fotoelementai šildymui ir elektros poreikiui.
5. Gruntinis šilumos siurblys patalpoms šildyti.

Prioritetinę AEI panaudojimo paskirtį galima išdėstyti tokia tvarka:

1. Vėsinimas – 110 kW.
2. Šildymas – 3992 kW.
3. Elektros generavimas – 272 kW.

Detalesniam techninio potencialo pažinimui nustatytas potencialo panaudojimo rodiklis (3.10 lentelė).

**3.10 lentelė.** Trijų sklypų atsinaujinančiųjų energijos išteklių techninio potencialo panaudojimo reikšmių suvestinė

**Table 3.10.** Summary of technical renewable energy sources potential use values of three sites

Nr.	Technologija		Trijų sklypų potencialo panaudojimo rodiklis, dalis		
			„Lygus“	„Prie jūros“	„Miestas“
1	Saulės kolektoriai	Patalpoms šildyti	0,37	0,36	0,37
2		Karštam vandeniui ruošti	0,34	0,33	0,34
3	Adsorbcinis vėsinimo įrenginys	Vėsinimui	0,00001	0,00001	0,00001
4	Saulės fotoelementai	Išskyrus vėsinimą	0,11	0,11	0,11
5	Vėjo jėgainė	Išskyrus vėsinimą	0,036	0,036	0,035
6	Gruntinis šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi	Patalpoms šildyti	4,50	4,50	4,50
7		Karštam vandeniui ruošti	6,0	6,0	6,0
8		Vėsinimui	39,91	39,91	39,91
9	Gruntinis šilumos siurblys su horizontaliu kolektoriumi	Patalpoms šildyti	38	79	45
10		Karštam vandeniui ruošti	51	106	61
11		Vėsinimui	2,1	4,3	2,4
12	Orinis šilumos siurblys	Patalpoms šildyti	0,012	0,011	0,012
13		Karštam vandeniui ruošti	0,016	0,013	0,015
14		Vėsinimui	0,012	0,011	0,012
15	Nepratakus saulės kolektorių	Patalpoms šildyti	0,052	0,051	0,051

Kaip matyti iš 3.10 lentelėje pateiktų LDAE potencialo panaudojimo rezultatų, techninis potencialas sudaro ir nereikšmingą (dešimtosiomis dalimis apibūdinamą) potencialo dalį, ir viršija esamą sklype teorinį potencialą. Teorinis potencialas saulės energijos atveju yra panaudojamas patalpų šildymo ir karšto vandens ruošimui taikant saulės kolektorių technologiją (šiuo atveju teorinio

potencialo panaudojamas siekia 37 %). Fotoelementų technologiją taikant, pasiekiamas – 11 % teorinio potencialo panaudojimas, vėjo energijos atveju – tik 3,6 %. Orinis šilumos siurblys jei laikomasi priimtų prielaidų, sugeba transformuoti iki 2 % sklypą pasiekiančio teorinio oro srauto šilumos potencialo.

Naudojant adsorbcinio vėsinimo įrenginio technines galimybes būtų galima transformuoti į vėsą tik 0,0001 dalį sklypą pasiekiančios saulės energijos srauto.

Vėjo energijos panaudojimas taip pat dar itin ribotas – jis sudaro tik 0,005 dalį sklypą pasiekiančio oro masės kinetinės energijos srauto.

Gruntinių šilumos siurblių technologiniai sprendiniai ir laikantis priimtų tyrimo prielaidų vykstanti AEI transformacija viršija (iki 100 kartų) teorinį AEI energijos potencialą. Grunto potencialas vertintas įtraukiant ir technologijos efektyvumą, kada pirminės AEI energijos transformacijai naudojant antrinę (tinklo) energiją yra gaunamas transformuotas galutinis energijos potencialas. Taip generuojamas energijos potencialas padidėja tiek kartų, koks yra panaudojamos technologijos veikimo efektyvumas. Tyrime technologijos efektyvumas siekia nuo 2 iki 3. Kita tokio didelio efektyvumo priežastis yra grunto akumuliacinių savybių ir gretimų sklypų šiluminio potencialo panaudojimas. Laikiniai iš grunto kolektorių galima paimti pageidaujamą energijos kiekį, viršijantį nuolatinį grunto sluoksnio šiluminį potencialą atnaujinantį šilumos srautą. Ilgainiui gaunamas grunto atvėsimas. Siekiant nepažeisti energijos balanso grunte, būtina orientotis į tuos technologinius sprendinius, kurie yra artimi teorinio potencialo panaudojimo efektyvumui, lygiui 1.

Oro šilumos srautas, palyginti su kitais sklypo AEI, yra milžiniškas, o numatyti technologiniai sprendiniai jo potencialą maksimaliai galėtų išnaudoti tik iki 2 %. Šiuo efektyvumu išreiškiamas ir orinių šilumos siurblių darbo efektyvumas. Atmetus būtiną energijos kiekį, kurio reikia energijai iš AEI į vartotojo sistemą perduoti, efektyvumo rodiklis sumažėtų tiek kartų, koks yra numatytas šilumos siurblių veikimo efektyvumas. Tyrimo atveju efektyvumas svyruoja nuo 1,1 iki 5 – tai priklauso nuo galutinės energijos paskirties ir aplinkos sąlygų.

### **3.5. Atsinaujinančios energijos išteklių potencialo energinio vertinimo rezultatų aptarimas**

Atlikta atvejo analizė iliustruoja AEI išteklių vertinimo rezultatus – naujo energijos vartotojo planavimui ir AEI technologinių sprendinių pirminių koncepcijų suformavimui naudingas energetines sklypo charakteristikas.

Kaip matyti iš skaičiavimo atvejo rezultatų, kompleksinis AEI srautų įvertinimas leidžia atsakyti į praktinius klausimus: „Ką aš turiu sklype, kuo

disponuoju ir iš ko aš galėčiau apsirūpinti energija?“ Atvejo analizėje didžiausias AEI teorinis maksimalus potencialas 3332 kW pasiekiamas vasaros laikotarpiu. Žiemos laikotarpiu – apie 900 kW. Metinis potencialo vidurkis 2052 kW. Esant didesnei rodiklių kitimo amplitudei būtina spręsti energijos akumuliacinio uždavinius.

AEI teorinio potencialo kitimas suskaidytas į keturis sezonus pagal metų laikus: žiemos, pavasario, vasaros ir rudens. Kaip rodo atvejo analizė, kiekvienas sezonas turi charakteringą dominuojantį AEI ar jų derinį. Žiemą maksimalią galią pasiekiantį vėjo potencialą (vidutinė reikšmė 538 kW) tikslinga būtų panaudoti būtent šaltuoju metų laikotarpiu. Saulės ir oro šiluminę energiją, kurių srauto vertės pasiekia maksimumą vasaros laikotarpiu, tikslinga būtų panaudoti šiltuoju metų laiku, tačiau šiuo laikotarpiu yra mažiausias šilumos poreikis. Šiuo atveju būtina spręsti energijos akumuliacinio uždavinius arba panaudoti alternatyvius šilumos transformavimo technologinius sprendinius: transformuoti šilumą į elektrą ar vėsa.

AEI potencialo aprašymas tik pagal metinius vidurkius atskirais atvejais gali būti nepakankamas. AEI kinta chaotiškai. Saulė, vėjas ir oras – šaltiniai, kurių dinamikoje pasitaiko pavienių ekstremalių srauto galios reikšmių. Atlikta statistinė teorinio AEI energijos srauto analizė leidžia pažinti energijos srautų svorinį galios centrą ir vyraujančias galios reikšmes, kurių neperteikia dažniausiai naudojamas aritmetinis reikšmių vidurkis. Grafikais pateiktas ir tarpkvartiliniu plokščiuku bei standartiniu nuokrypiu aprašomas srauto galios reikšmių išsibastymas sudaro pagrindą planuoti galimas įrenginių perkrovas ar padeda orientuotis renkantis įrenginių veikimo galių ribas. Atvejo analizės rezultatai rodo, kad chaotiškas gamtos reiškinio kitimas didžiausią įtaką turi vėjo energijos atveju. Atmetus ekstremalių vėjo gūsių įtaką, gaunama medianos reikšmė 243 kW aiškiai skiriasi nuo aritmetinio srauto galios vidurkio 434 kW. Įprastai, siekiant išvengti vėjo jėgainių sugadinimo, gūsių metu jų darbas yra ribojamas ir dalis vėjo energijos nepanaudojama. Ši dalis energijos aritmetinio vidurkio nustatymo atveju yra įskaičiuojama. Planavimo stadijoje tai gali būti reikšminga klaida.

Atvejo analizė parodė, kad yra paranku suskirstyti AEI energijos srautų galios reikšmes į tris grupes (mažųjų galių, vidutinių ir maksimalių) ir pagal galių kartotinumą nustatyti, kokia apimtimi atskiri srautai vyrauja. Išskiriant reikšmingus metų sezonus gaunama detali sklypo AEI potencialo dinamika. Kaip rodo atvejo analizės rezultatai, vėjo energijos didžioji dalis yra generuojama žiemą, kada srauto galios reikšmės viršija 1500 kW. Tačiau šių galių reikšmės sudaro tik iki 25 % visų pasitaikančių AEI energijos srauto galios reikšmių. Taip pat yra ir su saulės ir oro šilumos srauto galios pasiskirstymu. Tik grunto šiluma, kaip energijos šaltinis, yra stabiliausia visu metus ir gali užtikrinti nuoseklų aprūpinimą energija planuojamų galių diapazonu.

Techninio potencialo įvertinimas, numačius supaprastintą technologijų sprendinį, leidžia geriau pažinti sklypo energetinį potencialą ir sudaro detalesnį pagrindą galimam sklypo energetinės plėtros scenarijui sudaryti. Lyginant AEI teorinį su techniniu potencialu, gaunama vertinga informacija technologijoms ar jų panaudojimui tobulinti. Kaip rodo atvejo analizės rezultatai, AEI technologijos gali transformuoti skirtingą teorinio AEI potencialo dalį. Dalis technologinių sprendinių transformuoja procento nesiekiančią (adsorbcinis vėsimo įrenginys) teorinio potencialo dalį, dalis – dešimtimis kartų viršijantį teorinį potencialą (šilumos siurblių technologija). Maksimalios efektyvumo reikšmės pasiekiamos technologiniais sprendiniais, kurie iškrepia natūralias gamtos sąlygas ir taip leidžia paimti didesnę energijos kiekį. Labiausiai išsiskiria gruntinių šilumos siurblių technologija. Šios technologijos taikymas pasiekia 106 kartų didesnę maksimalų techninį AEI potencialą, palyginti su gamtoje iš gilesnių sluoksnių paviršių pasiekiančiu šilumos srautu. Tai sąlygoja grunto, kaip laikinojo energijos akumulatoriaus, savybės, kurias neracionaliai išnaudojant ilgainiui grunto energijos teorinio potencialo dydis kis.

Turint tokią kompleksiskai vienodu detalumu pateiktą techninę sklypą pasiekiančio AEI energijos srauto informaciją, formuojamas pagrindas pirminei sklypo energinio plėtojimo koncepcijai. Priklausomai nuo sklype numatomo energijos poreikio gali būti pasirinktas labiausiai atitinkančio profilio AEI ar jų kombinacija per metus. Tolesniam modeliavimui jau gali būti pasirinktos analizuotinos energijos transformavimo technologijos, pirminės jų pagrindinių komponentų galios ar proporcijos.

Didėjanti informacijos sklaida suteikia vis daugiau galimybių gauti ilgalaikių stebėjimų duomenų. Atsižvelgus į sklypo vietos sąlygų įtaką, atlikus kompleksinį AEI vertinimą, esami AEI išteklių vaizdavimo žemėlapiai gali būti papildyti pavieniam vartotojui kurti parankiais ir energetinį sklypo potencialą pristatančiais duomenimis.

### **3.6. Atsinaujinančius energijos išteklius naudojančių technologijų atrankos rezultatai**

Nustačius R rodiklių skaitines reikšmes pagal 2.6 poskyryje aprašytą metodiką, toliau pateikti skaičiavimų rezultatai suskirstomi pagal generuojamos energijos tipą: energija patalpoms šildyti, karštam vandeniui ruošti, vėsinti ir elektrai generuoti. Skaičiavimai atlikti pasirinkus metų laikotarpį, todėl R rodikliai atspindi metinius skaičiavimo rezultatus. Skaičiavimų rezultatai pateikti esant 95 % ir 40 % poreikių patenkinimo atvejams.



### 3.6.1. Trijų sklypų suvestinė technologijų atrankos informacija

Nustačius teorinį ir techninį potencialus ir aprašius sklype formuojamo pastato, kaip energijos vartotojo, energijos poreikius, buvo atliktas AEI technologijų suderinamumo su energijos poreikiais vertinimas. Šiame poskyryje pateikiami vertinimo rezultatai. Vertinimas atliktas esant 95% energijos poreikio iš AEI patenkinimo lygiui.

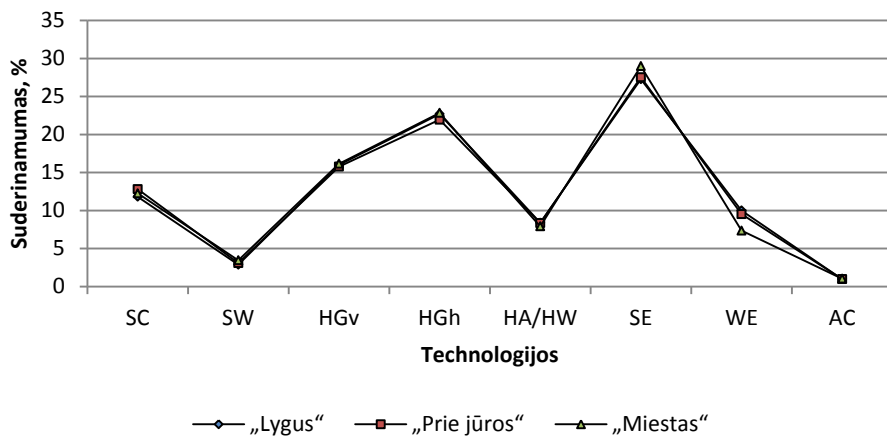
Technologijų suderinamumo, išreikšto procentais, suvestinė lentelė pateikiama 3.11 lentelėje. Nustatant atitinkamos technologijos bendrąjį svorį įvertinami visi energijos poreikių patenkinimo variantai, į kuriuos technologija yra orientuota. Pvz., saulės fotoelementų technologija gali būti naudojama tiek šilumos, tiek vėsos, tiek ir elektros poreikiams patenkinti. Todėl vien dėl šios technologinės savybės saulės fotoelementų bendras suderinamumo procentas yra didesnis.

**3.11 lentelė.** Suvestiniai technologijų suderinamumo su energijos poreikiais rodikliai  
**Table 3.11.** Summary indicators of technologies compatibility with the energy needs

Sklypas/ technologija	SC	SW	HGv	HGh	HA/HW	SE	WE	AC
„Lygus“	11,81	2,88	15,99	22,70	8,39	27,28	10,00	0,97
„Prie jūros“	12,81	3,09	15,77	21,95	8,34	27,53	9,53	0,98
„Miestas“	12,27	3,45	16,15	22,84	7,91	28,99	7,36	1,03

Kaip matyti iš skaičiavimo rezultatų, gautos suderinamumo reikšmės yra artimos vienos kitoms. Galima daryti pirminę išvadą, kad sklypo meteorologinių duomenų kaitos įtaka yra nereikšminga. Tai papildoma teorinio potencialo panaudojimo rodiklio nustatymo rezultatus. Daugelio technologijų teorinio potencialo panaudojimas yra nereikšmingai mažas, todėl gamtoje AEI potencialo svyravimai neturi reikšmingos įtakos techniniam potencialui, o drauge ir technologijų atrankai. Pagrindinei įtakos faktoriai yra techninio potencialo nustatymo prielaidos.

Grafinė suderinamumo interpretacija pateikta 3.15 paveiksle. Kaip matyti iš 3.15 paveiksle pateikto grafiko, didžiausias bendras suderinamumas su sklype formuojamais poreikiais yra saulės fotoelementų ir geoterminio siurblio su horizontaliu kolektoriumi. Saulės fotoelementų suderinamumas siekia 25–30 %, gruntinio šilumos siurblio – 20–25 %.



**3.15 pav.** Atskirų atsinaujinančiuosius energijos išteklius panaudojančių technologijų bendras suderinamumo su pastato energijos poreikiais procentas

**Fig. 3.15.** Total percentage of separate renewable energy sources transforming technologies compatibility with the building energy needs

Mažiausią suderinamumą laikantis priimtų techninių prielaidų turi adsorbcinis vėsinimo įrenginys bei pratakus saulės kolektorius – atitinkamai 0–2,5 % ir 2,5–5 %.

Tikėtina, kad gerokai sumažinus sklypo kontrolinį turį, sklypo AEI potencialas imtų aiškiai veikti atskirų technologijų suderinamumą. Galima daryti išvadą, kad šiuolaikiško namo energijos poreikiams patenkinti 1 ha sklypo plotas su jame disponuojamu AEI potencialu yra per didelis.

Toliau pateikiamas detalus sklypo „Lygus“ technologijų atrankos rezultatų įvertinimas.

### 3.6.2. Patalpų šildymo alternatyva

Patalpų šildymo poreikiams padengti tinka visos nagrinėjamos technologijos, išskyrus adsorbcinį vėsinimo įrenginį. 3.12 lentelėje pateikiama prioritentinė technologijų eilė.

Kaip matyti iš skaičiavimo rezultatų, laikantis tyrime aprašytų prielaidų gruntiniai šilumos siurbliai yra pirmaujantis technologinis sprendimas – didžiausias suderinamumas konkrečiu laiko periodu (1) ir didžiausias teigiamas potencialo rezervas (205153 kWh).

**3.12 lentelė.** Patalpoms šildyti tinkamų technologijų rodiklių R'x rezultatų suvestinė (95 % poreikio patenkinimo atveju)

**Table 3.12.** Summary of technologies indicators R'x results suitable for rooms' heating (in case the 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	R'1	Technologija	R'2	Technologija	R'3
1	SC	715,12	HGv	1,00	HGh	205152,93
2	HGh	708,83	HA/HW	0,91	SE	84582,67
3	SE	651,33	HGh	0,87	WE	59956,60
4	SW	386,41	WE	0,62	SW	58914,07
5	WE	77,33	SE	0,28	SC	27131,28
6	HA/HW	35,46	SW	0,27	HA/HW	18009,37
7	HGv	12,23	SC	0,004	HGv	5046,52

Didžiausią energijos potencialo ir poreikio santykį turi saulės kolektorių technologija. Stabiliausia technologija yra šilumos siurblio su horizontaliu kolektoriumi technologija. Sutapimas tam tikru laiko periodu artimas 100 %, o tai leidžia daryti išvadą, kad naudojant šią technologiją nereikia spręsti energijos akumuliacinio uždavinių.

Gruntinis šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi pagal potencialo santykį ir disponuojamą teigiamą energijos rezervą yra paskutinėje vietoje. Vertinant potencialo ir poreikio sutapimą tam tikru laiko periodu, paskutinėje vietoje yra saulės kolektorių technologija. Taip yra dėl to, kad šios technologijos panaudojimas įmanomas tik įgyvendinant energijos akumuliacinio sprendimus.

Saulės sienos technologija, kaip patalpų šildymo alternatyva, turi didelį panaudojimo potencialą, tačiau sutapimas tam tikru laiko periodu yra tik 27 %, o tai reiškia, jog didžiąją laiko dalį, ši technologija, o kartu ir energijos potencialo dalis yra nenaudinga.

Pritaikius svorinį metodą ir sujungus visų trijų rodiklių skaitines reikšmes, nustatyta bendra technologijų prioritetinė eilė (3.13 lentelė).

Bendri rezultatai rodo, kad patalpoms šildyti tinkamiausia technologija yra gruntinis šilumos siurblys su horizontaliu kolektoriumi. Mažiausiai tinkama – gruntinis šilumos siurblys su vertikaliu kolektoriumi.

**3.13 lentelė.** Technologijų atrankos patalpų šildymo alternatyvai suvestinė (95 % poreikių patenkinimo atveju)

**Table 3.13.** Summary of technologies selection of rooms' heating alternative (in case 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	Procentinis svoris*
1	HGh	94,05
2	SE	50,83
3	SW	34,51
4	SC	33,66
5	WE	31,83
6	HA/HW	28,24
7	HGv	26,88

\*bendras procentinis svoris yra 300 %.

Bendras gruntinio šilumos siurblio su horizontaliu kolektoriumi technologinio sprendinio svoris 94 % rodo, kad ši technologija yra išskirtinė ir turi akivaizdų pranašumą. Antroje vietoje esančios saulės fotoelementų alternatyvos procentinis svoris praktiškai perpus mažesnis – 51 %, o trečioje ir tolesnėse vietose esančių technologijų – tik apie 30 %.

### 3.6.3. Karšto vandens ruošimo alternatyva

Karšto vandens ruošimo poreikiams patenkinti netinka adsorbcinio vėsinimo įrenginio ir nepratakaus saulės kolektoriaus technologijos. Likusių technologijų prioritetinė eilė pateikta 3.14 lentelėje.

Karšto vandens ruošimo atveju viena iš pirmaujančių technologijų yra saulės kolektorių technologija. Ji turi dvi  $R_x$  rodiklio didžiausias reikšmes, t. y. didžiausią techninio potencialo santykį su poreikiu (1258) ir didžiausią teigiamą potencialo rezervą (3377650 kWh). Tačiau šios technologijos energijos potencialas prasilenkia su poreikio laiku. Įgyvendinant energijos akumuliacijos sprendimus ši technologija tampa labiau tinkama. Šilumos siurblių technologija pavieniais rodikliais yra tiek prie pirmaujančių technologijų, tiek ir prie mažiausiai tinkamų. Todėl šių technologijų panaudojimas karštam vandeniui ruošti pirmiausia būtų susijęs su akumuliacijos reiškiniais. Numačius energijos akumuliaciją, ši technologija taptų labiau naudinga.

**3.14 lentelė.** Karštam vandeniui ruošti tinkamų technologijų rodiklių R'x rezultatų suvestinė (95 % poreikių patenkinimo atveju)

**Table 3.14.** Summary of technologies indicators R'x results suitable for hot water preparation (in case the 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	R'1	Technologija	R'2	Technologija	R'3
1	SC	1257,92	HGh	1,00	SC	3377649,72
2	HGh	641,49	HGv	1,00	HGh	1972780,26
3	SE	381,31	HA/HW	0,86	SE	1104101,06
4	WE	38,24	SE	0,62	WE	113029,42
5	HA/HW	18,10	WE	0,57	HA/HW	52430,46
6	HGv	6,40	SC	0,148	HGv	16089,93

Pritaikius svorinį metodą ir sujungus visų trijų rodiklių skaitines reikšmes nustatyta bendra prioritetinga technologijų karštam vandeniui ruošti eilė (3.15 lentelė).

**3.15 lentelė.** Technologijų atrankos karšto vandens ruošimo alternatyvai suvestinė (95 % poreikių patenkinimo atveju)

**Table 3.15.** Summary of technologies selection of hot water preparation alternative (in case 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	Procentinis svoris*
1	SC	108,09
2	HGh	80,89
3	SE	47,66
4	HGv	24,30
5	HA/HW	22,13
6	WE	16,94

\*bendras procentinis svoris yra 300 %.

Bendri rezultatai rodo, kad karštam vandeniui ruošti tinkamiausia technologija yra saulės kolektorių technologija. Mažiausiai tinkama – vėjo energija. Gruntinis šilumos siurblys su horizontaliu kolektoriumi turintis 80 % suderinamumo svorį yra taip pat naudinga technologija.

### 3.6.4. Vėsinimo alternatyva

Vėsinimo poreikiams padengti tinka tik šilumos siurblių ir adsorbcinio vėsinimo įrenginio technologijos. 3.16 lentelėje pateikiama prioritetinga šių technologijų eilė.

**3.16 lentelė.** Vėsinimui tinkamų technologijų rodiklių R'x rezultatų suvestinė (95 % poreikio patenkinimo atveju)

**Table 3.16.** Summary of technologies indicators R'x results suitable for cooling (in case the 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	R'1	Technologija	R'2	Technologija	R'3
1	HGv	15147,40	HA/HW	1,00	HGv	157231,77
2	HGh	9467,12	HGv	0,67	HGh	98239,77
3	HA/HW	1003,46	HGh	0,67	HA/HW	24117,59
4	AC	0,76	AC	0,31	AC	-20,56

Vėsinimo poreikiams padengti tinkamiausia yra grunto šilumos siurblio su vertikaliu kolektoriumi technologija. Mažiausiai naudinga yra adsorbcinio vėsinimo įrenginio technologija. Visi trys šios technologijos R'x rodikliai yra mažiausi. Pritaikius svorinį metodą ir sujungus visų trijų rodiklių skaitines reikšmes, nustatyta bendra technologijų prioritetinga eilė (3.17 lentelė).

**3.17 lentelė.** Technologijų atrankos vėsinimo alternatyvai suvestinė (95 % poreikių patenkinimo atveju)

**Table 3.17.** Summary of technologies selection of cooling alternative (in case 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	Procentinis svoris*
1	HGv	140,68
2	HGh	97,40
3	HA/HW	50,27
4	AC	11,65

\*bendras procentinis svoris yra 300 %.

Gruntinis šilumos siurblys, laikantis tyrime numatytų prielaidų tiek su vertikaliu kolektoriumi, tiek su horizontaliu kolektoriumi yra vienodai naudingas.

Bendri rezultatai rodo, kad vėsinimui naudingiausia technologija yra ta pati gruntinio šilumos siurblio su vertikaliu kolektoriumi technologija (141 % suderinamumas). Mažiausiai naudinga – adsorbcinio vėsinimo įrenginio technologija (12 % suderinamumas).

### 3.6.5. Elektros generavimo alternatyva

Elektros generavimo poreikiams padengti tinka tik saulės fotoelementų ir vėjo jėgainės technologijos. 3.18 lentelėje pateikiama prioritentinė šių technologijų eilė.

**3.18 lentelė.** Elektrai generuoti tinkamų technologijų R'x rodiklių rezultatų suvestinė (95 % poreikio patenkinimo atveju)

**Table 3.18.** Summary of technologies indicators R'x results suitable for electricity generation (in case the 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	R'1	Technologija	R'2	Technologija	R'3
1	SE	3188,71	WE	0,56	SE	1106706,18
2	WE	279,04	SE	0,517	WE	136339,47

Kaip matyti iš skaičiavimo rezultatų, saulės fotoelementų technologija yra akivaizdžiai parankesnė. Potencialas iki 3200 kartų didesnis už poreikį, suminis rezervas siekia 1106706 kWh rezervą.

Abiejų technologijų sutapimas tam tikru laiko periodu nesiekia ir 60 %, o tai reiškia, jog taikant abi technologijas reikia spręsti energijos akumuliacinio uždavinį. Šiuo atveju naudingiausia būtų saulės fotoelementų technologija, nes jos yra didesnis energijos rezervas ne poreikio reikšimosi metu.

Pritaikius svorinį metodą ir sujungus visų trijų rodiklių skaitines reikšmes, nustatyta bendra technologijų prioritentinė eilė (3.19 lentelė).

**3.19 lentelė.** Technologijų atrankos elektros generavimo alternatyvai suvestinė (95 % poreikio patenkinimo atveju)

**Table 3.19.** Summary of technologies selection of electricity generation alternative (in case 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologija	Procentinis svoris*
1	SE	228,82
2	WE	71,18

\*bendras procentinis svoris yra 300 %.

Bendri rezultatai rodo, kad 228,82 % svorio atitenka saulės fotoelementų technologijai. Tai akivaizdus pranašumas ir renkantis elektros generavimo technologinį sprendinį saulės fotoelementų technologija būtų tinkamas inžinerinis pagrindas racionaliai išspręsti apsirūpinimo energija uždavinį.

### 3.6.6. Suvestiniai technologijų atrankos rodiklių rezultatai

Toliau pateikiama bendra technologijų atrankos rodiklių lentelė (3.20 lentelė). Atskirai kiekvieno poreikio visų technologinis svoris prilygintas 100 %. Lentelėje pateikiamas atskirų technologinių sprendinių svoris sudaro 100 % svorio.

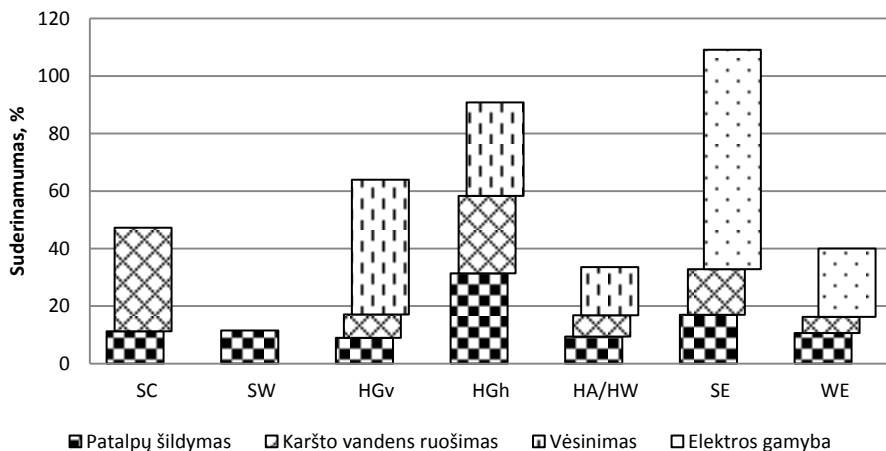
**3.20 lentelė.** Bendra technologijų atrankos suvestinė (95 % poreikių patenkinimo atveju)

**Table 3.20.** Summary of general technologies selection (in case 95% of needs are met)

Prioritetas	Technologijos panaudojimo paskirtis							
	Patalpų šildymas		Karšto vandens ruošimas		Vėsinimas		Elektros gamyba	
1	HGh	31,35	SC	36,03	HGv	46,89	SE	76,27
2	SE	16,94	HGh	26,96	HGh	32,47	WE	23,73
3	SW	11,50	SE	15,89	HA/HW	16,76		
4	SC	11,22	HGv	8,10	AC	3,88		
5	WE	10,61	HA/HW	7,38				
6	HA/HW	9,41	WE	5,65				
7	HGv	8,96						

Grafinė 3.20 lentelės duomenų interpretacija pateikta 3.16 paveiksle.





**3.16 pav.** Atsinaujinančiuosius energijos išteklius panaudojančių technologijų atrankos procentinis suderinamumo su pastato energijos poreikiais pasiskirstymas

**Fig. 3.16.** Percentage distribution of renewable energy sources transforming technologies selection compatibility with the building energy needs

Įvertinus gautus rezultatus galima daryti išvadą, kad naudingiausia technologija sklype yra saulės fotoelementų technologija.

Energijos akumuliacijos sprendimai, technologijų hibridinės sistemos techninio potencialo sanklota sklype – tai detalesnio AEI integracijos tyrimo sudedamosios dalys, kurios numatomos nagrinėti tolesniuose darbuose.

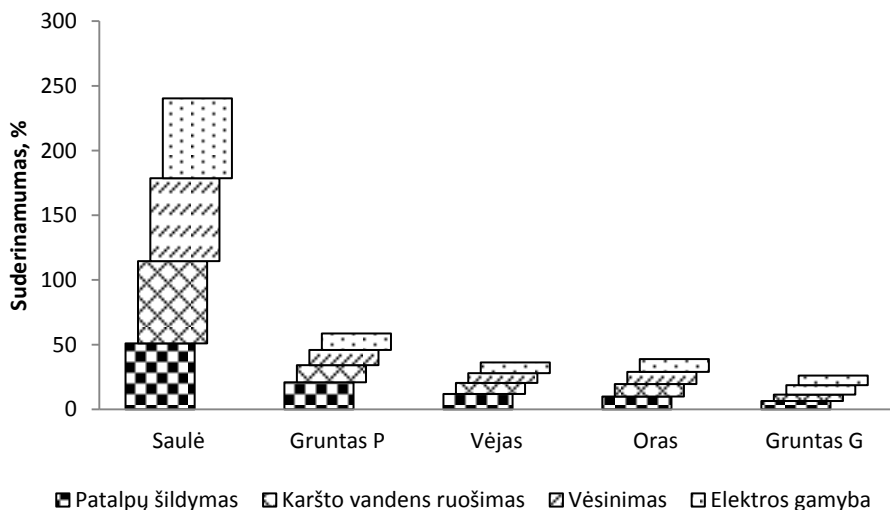
### 3.7. Atsinaujinančios energijos išteklių atrankos rezultatai

Siekiant patikrinti AEI suderinamumą su pastato energijos poreikiais, buvo nustatyti tie patys suderinamumo rodikliai R, tačiau šiuo atveju nevertinant technologijų veikimo efektyvumo. Šaltinių atrankos skaičiavimo rezultatai pateikti 3.21 lentelėje.

Šaltinių atrankos rezultatai atitinka technologijų parinkimo logiką naudingiausias šaltinis yra saulės energija. Vienas iš mažiausiai naudingų AEI yra giluminio grunto energija. Grafinė 3.21 lentelės duomenų interpretacija pateikta 3.17 paveiksle.

**3.21 lentelė.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių prioritetinė eilė pagal poreikių tipą  
**Table 3.21.** Priority sequence of renewable energy sources under the type of needs

Prioritetas	Poreikių tipas							
	Patalpų šildymas		Karšto vandens ruošimas		Vėsinimas		Elektros gamyba	
	AEI	%	AEI	%	AEI	%	AEI	%
1	Saulė	51,01	Saulė	63,51	Saulė	64,08	Saulė	61,67
2	Gruntas P	20,85	Gruntas P	13,25	Gruntas P	11,76	Gruntas P	12,75
3	Vėjas	11,89	Oras	9,74	Oras	9,37	Oras	9,91
4	Oras	9,86	Vėjas	8,48	Vėjas	7,57	Vėjas	8,25
5	Gruntas G	6,39	Gruntas G	5,02	Gruntas G	7,21	Gruntas G	7,42



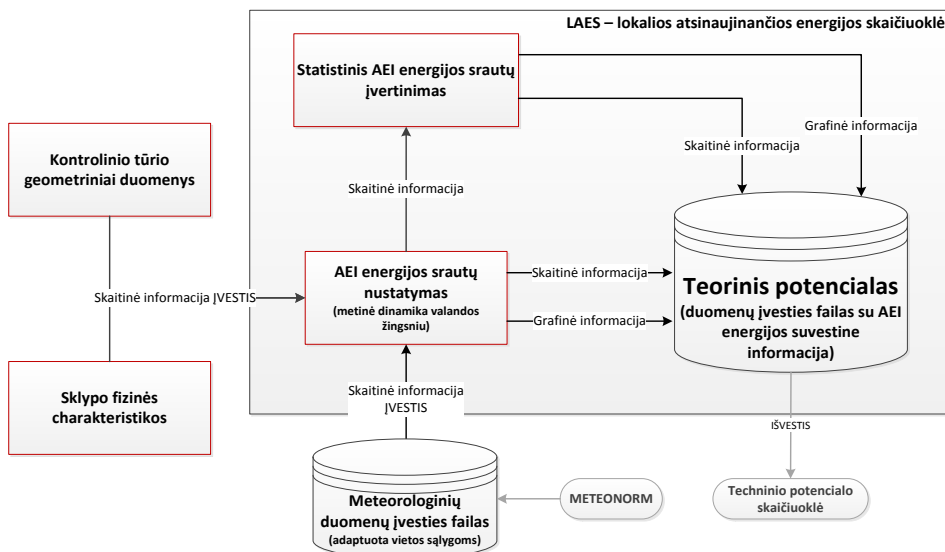
**3.17 pav.** Atsinaujinančiųjų energijos išteklių atrankos procentinis suderinamumo pasiskirstymas

**Fig. 3.17.** Percentage distribution of renewable energy sources selection compatibility

Formuojant sklypo energinės plėtros koncepciją, tikslinga pirmiausia orientuotis į naudingiausius energijos šaltinius. Šiuo atveju saulė, yra sezoninis ir ne visą parą pasireiškiantis energijos srautas, todėl be tiesioginio energijos panaudojimo turėtų būti sprendžiami ir energijos akumuliacijos uždaviniai.

### 3.8. Kompiuterinės energijos išteklių potencialo vertinimo priemonės kūrimas

Patogesniam AEI potencialo vertinimui sukurtas potencialo nustatymo algoritmas buvo užrašytas programavimo kalba C++. Suprogramuota informacijos struktūra pateikta 3.18 paveiksle.



**3.18 pav.** Programavimo kalba C++ suprogramuoto atsinaujinančiųjų energijos išteklių potencialo vertinimo matematinio modelio struktūriniai informacijos komponentai

**Fig. 3.18.** Structural information components of renewable energy sources potential evaluation mathematical model programmed with programming language C++

Kompiuterinė programa pavadinta LAES – tai programos paskirties apibūdinimo (lokalios atsinaujinančiosios energijos skaičiuoklė) santrumpa.

Norint skaičiuoklę įvertinti sklypo techninį AEI potencialą, reikia atitinkamos duomenų struktūros meteorologinių duomenų. Jie turi būti apdorojami programa „Meteonorm“, pritaikyti prie sklypo vietos sąlygų ir eksportuoti skaičiuoklei priimtiniu formatu ir struktūra.

Taip pat reikia nurodyti sklypo kontrolinio tūrio duomenis ir papildomas fizines sklypo charakteristikas. Programos atlikti skaičiavimai pateikiami skaitine ir grafine išraiška. Pagal poreikį generuojami valandiniai, paros, mėnesio ar metų duomenys.

Pagrindiniame programos lange visa informacija padalyta į tris dalis:

1. Pagrindinė meniu juosta, kurioje galima pasirinkti meteorologinių duomenų įvesties failą („Open dat file“), nurodyti skaičiavimams naudojamų konstantų vertes bei kitas fizinės sklypo charakteristikas.

2. Informacijos blokas, skirtas skaitiniams duomenims pateikti. Šiame informacijos bloke atveriant papildomus programos langus galima gauti pasirinkto detalumo įvesties ir galutinius išvesties duomenis. Visi duomenys ar jų dalys gali būti eksportuojami xls tipo failais.

3. Blokas informacijos, skirtas grafiniai duomenų interpretacijai. Atsidarant papildomus langus, dalis grafikų duomenų analizės patogumui yra suprogramuoti su interaktyviais įrankiais konkretaus laiko momentui parinkti.

Vienas iš svarbiausių programos langų yra per pagrindinę meniu juostą atveriamas rodiklių langas („Rodikliai“). Šiame lange pateikiama pagrindinė sklypo energinį potencialą pristatanti informacija. Programoje numatyta galimybė eksportuoti rodiklių lango duomenis, taip pat metinių ir bendro suminio LDAE srautų duomenis. Duomenų išvesties failas suformuotas taip, kad atitiktų darbe pristatytą sklypo duomenų rinkmenos struktūrą.

### 3.9. Trečiojo skyriaus išvados

1. Sklypo AEI potencialo kompleksinio vertinimo ir išteklius naudojančių technologijų atrankai sukurtų modelių veiksnumas patikrintas atlikus trijų sklypų atvejo analizę.
2. Tyrimo prielaidų ribose nustatytas teorinis sklypo AEI potencialas, išreikštas vidutine metine galia yra ribose nuo 1765 kW iki 2114 kW. Lyginamaisiais rodikliais į kvadratinį žemės sklypo plotą būtų atitinkamai – 177 W/m<sup>2</sup> iki 211 W/m<sup>2</sup>.
3. Nustatyta, kad vidutinio klimato juostoje esančių sklypų žiemą didžiausią potencialą turi vėjo kinetinės energijos srautas, tačiau bendras sklypo potencialas yra iki 3 kartų mažesnis lyginant su maksimaliu. Vasarą didžiausias potencialas yra iš saulės ir tuo pačiu didžiausias bendrasis sklypo energinis potencialas – sezono vidutinė galia siekia 3296 kW.
4. Statistinė AEI energijos srautų analizė parodė, kad didžiausias yra saulės energijos srauto reikšmių išsibarstymas (didžiausias tarpkvartinis plotis – 746 kW), o didžiausia išskirtinių reikšmių įtaka yra vėjo energijos srautui (didžiausias medianos ir aritmetinio vidurkio skirtumas – 191 kW).
5. Gauti techninio potencialo nustatymo rezultatai rodo, kad didžiausias techninis potencialas yra saulės energiją naudojančios technologijos

- (3,3–3,4 MW patalpų šildymo ir 3,0–3,2 MW karšto vandens ruošimo atvejais).
6. Nustatyta ši mažėjančio techninio potencialo technologijų seka:
    1. Saulės kolektoriais sugeneruota šiluma patalpoms šildyti.
    2. Saulės kolektoriais sugeneruota šiluma karštam vandeniui ruošti.
    3. Gruntiniu šilumos siurbliu sugeneruota šiluma karštam vandeniui ruošti.
    4. Saulės fotoelementais generuojama energija šildymui ir elektros poreikiui padengti.
    5. Gruntiniu šilumos siurbliu sugeneruota patalpoms šildyti.
  7. Prioritetinę AEI panaudojimo paskirtį galima išdėstyti tokia tvarka:
    1. Vėsinimas – 110 kW.
    2. Šildymas – 3992 kW.
    3. Elektros generavimas – 272 kW.
  8. Gyvenamojo namo poreikių suderinamumo su 1 ha ploto sklypo energiniu potencialu įvertinimo rezultatai rodo mažą suderinamumo procentų svyravimą. Lyginant su formuojamu poreikiu, daugelio technologijų teorinio potencialo panaudojimas yra nereikšmingai mažas, todėl gamtoje AEI potencialo svyravimai neturi reikšmingos įtakos techniniam potencialui, o drauge ir technologijų atrankai.
  9. Visais trimis skaičiavimo atvejais, didžiausias suderinamumas su sklype formuojamais poreikiais yra saulės fotoelementų ir geoterminio siurblio su horizontaliu kolektoriumi. Saulės fotoelementų suderinamumas siekia 25–30 %, gruntinio šilumos siurblio – 20–25 %. Mažiausias suderinamumas yra adsorbcinio vėsinimo įrenginio bei pratakaus saulės kolektoriaus – atitinkamai 0–2,5 % ir 2,5–5 %.
  10. Programavimo kalba C++ suprogramavus tyrime sukurtus matematinius modelius yra generuojamas suvestinis sklypo energinio potencialo duomenų masyvas. Informacijai perteikti pasiūlyta duomenų rinkmenos struktūra. Jos pagrindu turėtų būti sprendžiami tolesnį sklypo energinio išvystymo klausimai.



---

## Bendrosios išvados

1. Mokslinėje literatūroje yra gausu techninės informacijos apie atskirus atsinaujinančiosios energijos išteklius, tačiau trūksta metodo, kuriuo, panaudojant kompleksiskai įvertintą sklypo ir jame numatomų vartotojo energetinių poreikių informaciją, būtų galima suformuoti sklypo AEI pirminę technologinę plėtros koncepciją.
2. Vadovaujantis termodinaminės analizės principais sukurti teorinio ir techninio AEI potencialo įvertinimo matematiniai modeliai suteikia galimybę vienodu detalumu įvertinti AEI potencialą. Įvertinus trijų sklypų esančių vidutinių platumų klimato zonoje energinį potencialą nustatyta, kad laikantis tyrime aprašytų prielaidų, sklypo maksimalaus teorinio AEI potencialo vidutinės metinės galios kitimo ribos yra 177–205 W/m<sup>2</sup>. Saulės energijos srauto vidutinė galia – 112–114 W/m<sup>2</sup>, vėjo – 25–43 W/m<sup>2</sup>, oro šilumos – 38–56 kW/m<sup>2</sup>, paviršinio grunto sluoksnio šilumos srauto galia – 0,26–0,53 W/m<sup>2</sup>.
3. Darbe sukurtu teorinio ir techninio potencialų palyginimo algoritmu galima įvertinti technologijų plėtojimo potencialą. Įvertinus trijų sklypų plėtojimo potencialą nustatyta, kad priklausomai nuo energijos panaudojimo poreikio tipo sklype gali būti panaudota 34–36 % saulės teorinio potencialo, vėjo – 3,5–3,6 %, oro šilumos 1,1–1,6 % galimo teorinio potencialo.

4. Atlikus statistinę skaičiavimo rezultatų analizę nustatyta, kad tiesioginis energijos srautų galios aritmetinio vidurkio naudojimas planuojant yra netikslingas. Ekstremalių pavienių AEI srauto reikšmių įtaka yra reikšminga ir iškreipia energijos srautų charakteristikas. Tyrimo rezultatai parodė, kad pavienės ekstremalios galios reikšmės daugiausia įtakoja vėjo energijos bendruosius rodiklius. Vidutinė vėjo srauto galia, statistinės analizės metodais atmetus ekstremalių reikšmių įtaką, yra 70–80% mažesnė už nustatytą ir įprastai naudojamą galios vidutinę reikšmę.
5. Galios reikšmių išsibastymo tyrimas aprašomosios statistikos charakteristikomis leidžia nustatyti galimą technologinių sprendinių veikimo parametrų diapazoną. Atlikus trijų sklypų skaičiavimo rezultatų analizę nustatyta, kad didžiausią galios reikšmių diapazoną turi saulės energiją transformuojančios technologijos. Veiklos diapazoną apibūdina didžiausias tarpkvartilinis plotis, kuris saulės energijos panaudojimo atveju vidutiniškai siekia  $74,6 \text{ W/m}^2$ .
6. Norint parinkti labiausiai su energijos poreikiais derančias AEI technologijas, darbe pasiūlytas AEI potencialo ir poreikio suderinamumo nustatymo metodas, pagrįstas trimis suderinamumą apibūdinančiais rodikliais. Naudojant šį metodą trijų sklypų skaičiavimais nustatyta, kad su priemiesčio sklype formuojamais mažaenergio pastato energijos poreikiais geriausiai suderinami: gruntinis šilumos siurblys patalpų šildymo ir vėsinimo poreikiams patenkinti (suderinamumo procentas šildymui – 31% ir patalpoms vėsinti – 47%); saulės kolektoriai karštam vandeniui ruošti (36%); saulės fotoelementai elektros poreikiams patenkinti (76%).
7. Nuosekliai sprendžiant sklype AEI potencialo įvertinimo uždavinį, tiek teorinio, tiek techninio AEI potencialo kiekybinio įvertinimo etapuose gautų duomenų patogiam naudojimui darbe pasiūlyta tolesnio modeliavimo išeities charakteristikų rinkmena. Rinkmeną sudaro suvestinė meteorologinių duomenų, AEI energijos srautų teorinio ir techninio potencialo informacija ir su formuojamais sklype energijos poreikiais labiausiai derančių AEI technologijų prioritentinė eilė.



---

## Literatūra ir šaltiniai

Ackermann, Th.; Andersson, G.; Soder, L. 2001. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research* 57: 195–204.

AIA, 2007. Integrated Project Delivery: A Guide (Version 1), AIA, California.

Al-Sallal, K. A.; Al-Rais, L. 2012. Outdoor airflow analysis and potential for passive cooling in the modern urban context of Dubai. *Renewable Energy* 38(1): 40–49.

Altwies, J.; Nemet, G.F. 2013. Innovation in the U.S. building sector: an assessment of patent citations in building energy control technology. *Energy Policy* 52: 819–831.

Artmann, A.; Manz, H.; Heiselberg, P. 2007. Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. *Applied Energy* 84 (2): 187–201.

Angelis-Dimakis, A.; Biberacher, M.; Dominguez, J.; Fiorese, G.; Gadocha, S.; Gnansounou, E.; Guariso, G.; Kartalidis, A.; Panichelli, L.; Pinedo, I.; Robba, M. 2011. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1182–1200.

Azari-Najafabadi, R.; Ballard, G.; Cho, S.; Kim, Y.-W. 2011. A dream of ideal project delivery system. AEI 2011: Building Integrated Solutions - Proceedings of the AEI 2011 Conference: 427–436.

Bajpai, P.; Dash, V. 2012. Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 2926–2939.

Baltas, A.E.; Dervos A.N. 2012. Special framework for the spatial planning & the sustainable development of renewable energy sources. *Renewable Energy* 48: 358–363.

Barlish, K.; Sullivan, K. 2012. How to measure the benefits of BIM — A case study approach. *Automation in Construction* 24: 149–159.

Budig, Ch.; Orozaliyev, J.; Vajen, K. 2010. Comparison of Different Sources of Meteorological Data for Central Asia and Russia. Proceedings EuroSun 2010, Graz (AT).

Chan, H.Y.; Riffat, S. B.; Zhu, J. 2010. Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 781–789.

Cholakis, P.N. 2011. 4D/5D BIM, JOC, IPD - Why the AEC industry must change. *AACE International Transactions* 2: 927–939.

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy. SEC(2010) 1346 COM(2010) 639 final Brussels, 10.11.2010. [žiūrėta 2012 metų kovo 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0639:FIN:EN:PDF>

Connolly, D. *et al.* 2010. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy* 87: 1059–1082.

Darius, B. 2008. Pastato inžinerinių sistemų procesų integravimo vertinimas taikant eksergijos kriterijų. Daktaro disertacija, Vilnius: Technika, ISBN 978-9955-28-223-5.

Demirhan, H.; Montes, T.; Atilla, M. 2013. Statistical comparison of global solar radiation estimation models over Turkey. *Energy Conversion and Management* 68: 141–148.

Dincer, I.; Rosen, M.A. 2007. Exergy. Energy, Environment and Sustainable Development. First edition 2007. ISBN:978-0-08-044529-8.

Doreen, E. K.; Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wagner, A. 2011. Energy and efficiency analysis of environmental heat sources and sinks: In-use performance. *Renewable Energy* 36: 916–929.

European Parliament, Council. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. [žiūrėta 2013 metų liepos 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&rid=2>.

Foley, A. M.; Leahy, P. G.; Marvuglia, A.; McKeogh E. J. 2012. Current methods and advances in forecasting of wind power generation. *Renewable Energy* 37 (1): 1–8.

- Gianfranco, Ch.; Pierluigi, M. 2009. Distributed multi-generation: A comprehensive view. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 535–551.
- Hensen, J. L. M. 2010. Building performance simulation for sustainable energy use in buildings, *REHVA Journal* 47(4): p. 26–30.
- Hepbasli, A. 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 593–661.
- Hermann, W.A. 2006. Quantifying global exergy resources. *Energy* 31(12): 1685–1702.
- Hoevenaars, E.J.; Crawford, C.A. 2012. Implications of temporal resolution for modeling renewables-based power systems. *Renewable energy* 41: 285–293.
- Integrated Whole Building Design Guidelines ISBN: 978-0-478-33130-1 (electronic). Published in October 2008 by the Ministry for the Environment Wellington, New Zealand. [žiūrėta 2012 metų birželio 9 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.mfe.govt.nz/publications/sus-dev/integrated-whole-building-design-guidelines/integrated-building-guidelines.pdf>>.
- International Energy Agency. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. 2007–2012 Strategic Plan. *Towards Near-Zero Primary Energy Use and Carbon Emissions in Buildings and Communities*.
- Isikdag, U. 2012. Design patterns for BIM-based service-oriented architectures. *Automation in Construction* 25: 59–71.
- Ystanes, F. H. *et al.* 2011. A global renewable energy system: A modeling exercise in ETSAP/TIAM. *Applied Energy* 88: 526–534.
- Jiuping, X.; Zongmin L. 2012. A review on Ecological Engineering based Engineering Management. *Omega* 40: 368–378.
- Karagiorgas, M.; Galatis, K.; Tsagouri, M.; Tsoutsos, Th.; Botzios-Valaskakis A. 2010. Solar assisted heat pump on air collectors: A simulation tool. *Solar Energy* 84: 66–78.
- Koroneos, Ch.; Spachos, Th.; Moussiopoulos, N. 2003. Exergy analysis of renewable energy sources. *Renewable Energy* 28: 295–310.
- Lapinskienė, V.; Martinaitis, V. 2013. The framework of an optimization model for building envelope. *Procedia Engineering* 13(57): 670–677. *11th international conference on modern building materials, structures and techniques (MBMST)*, May 16–17, 2013, Vilnius, Lithuania. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Lapinskienė, V.; Motuzienė, V.; Martinaitis, V. 2014. Multi-objective optimization of shading solutions for a standard family house under Lithuanian conditions. *9th International Conference "Environmental Engineering"*: 1–7.
- Lee, K.; Yoo, H.; Levermore, G. J. 2010. Generation of typical weather data using the ISO Test Reference Year method for major cities of South Korea; *Building and Environment* 45: 956–963.

Liao, W.; Heijungs, R.; Huppes, G. 2012. Thermodynamic analysis of human-environment systems: A review focused on industrial ecology. *Ecological Modelling* 228: 76–88.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos prie Aplinkos ministerijos skelbiama Lietuvos klimato kaitos apžvalga. Prieiga per internetą: <[http://meteo.lt/klim\\_kaita.php](http://meteo.lt/klim_kaita.php)>.

Luna-Rubio, R.; Trejo-Perea, M.; Vargas-Vazquez, D.; Rios-Moreno, G.J. 2012. Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies. *Solar Energy* 86: 1077–1088.

Malczewski, J. 2006. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8: 270–277.

Manfredi, M.; Caputo, P.; Costa, G. 2011. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models. *Applied Energy* 88: 1032–1048.

Maryniak, G. 2012. Storage, Not Generation, is the Challenge to Renewable Energy [žiūrėta 2012 liepos 22 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.forbes.com/sites/singularity/2012/07/20/storage-not-generation-is-the-challenge-to-renewable-energy/>>.

Mendes, G. *et al.* 2011. On the planning and analysis of Integrated Community Energy Systems: A review and survey of available tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 4836–4854.

Meteotest. 2013. Meteoronorm version 7.0.20 – handbook; [interaktyvus] [žiūrėta 2013 metų balandžio 19 d.]. Prieiga per internetą: <[www.meteoronorm.com](http://www.meteoronorm.com)>.

Migilinskas, D.; Popov, V.; Juocevičius, V.; Ustinovičius, L. 2013. The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. *Procedia Engineering* 57: 767–774. *11th international conference on modern building materials, structures and techniques (MBMST)*, May 16–17, 2013, Vilnius, Lithuania. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

Mikučionienė, R.; Martinaitis, V.; Keras, E. 2014. Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decisiontree method. Iš: *Energy and buildings*. Lausanne: Elsevier Science 76: 64–71.

Motuzienė, V.; Vilutienė, T. 2013. Modelling the effect of the domestic occupancy profiles on predicted energy demand of the energy efficient house. *Procedia Engineering* 57: 798–807. *11th international conference on modern building materials, structures and techniques (MBMST)*, May 16–17, 2013, Vilnius, Lithuania. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

Motuzienė, V., Vilutienė, T., Rogoža, A. 2013. Environmental performance of energy efficient residential building – a case study of Lithuania. *Proceedings of the Sustainable Buildings - Construction Products and Technologies (CB13)*: 351–358. Graz University of Technology, Austria.

Motuzienė, V.; Bielskus, J. 2014. Assessment of overall performance of building integrated photovoltaics. *9th International Conference "Environmental Engineering"*: 1–9. Vilnius, Lithuania: selected papers CD. Vilnius: Technika.

Muratori, M.; *et al.* 2013. A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand. *Applied Energy* 107: 465–473.

Nagy, K.; Kormendi, K. 2012. Use of renewable energy sources in light of the „New Energy Strategy for Europe 2011–2020“. *Applied Energy* 96: 393–399.

Nama, Y., Ooka, R., Shiba, Y. 2010. Development of dual-source hybrid heat pump system using groundwater and air. *Energy and Buildings* 42: 909–916.

National Renewable Energy Laboratory of the U.S. Department of Energy. The renewable resource interactive maps [interaktyvus] 2012 [žiūrėta 2012 sausio 15]. Prieiga per internetą: <<http://www.nrel.gov/gis/maps.html>>.

Natural Resources Defense Council, New York. Interactive resource maps of western U.S. [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2012 sausio 15]. Prieiga per internetą: <<http://www.nrdc.org/land/sitingrenewables/default.asp>>.

Omitaomu, O. A.; Blevins, B.R.; Jochem, W. C.; Mays, G. T.; Belles, R.; Hadley, S. W.; Harrison, Th. J.; Bhaduri, B. L.; Neish, B. S.; Rose, A. N. 2012. Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites. *Applied Energy* 96: 292–301.

Ondreka, J., Rusgen, M.I., Stober I., Czurda K.. 2007. GIS-supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south-western Germany—Possibilities and limitations. *Renewable Energy* 32: 2186–2200.

Pardo, N.; Montero, I.; Martos, J.; Urchueguña, J. F. 2010. Optimization of hybrid – ground coupled and air source – heat pump systems in combination with thermal storage. *Applied Thermal Engineering* 30: 1073–1077.

Popov, V.; Juocevičius, V.; Migilinskas, D; Ustinovičius L.; Mikalauskas S. 2010. The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. Iš: *Automation in construction: an international research journal* 13(19): 357–367. Netherlands: Elsevier B.V.

Ramachandra, T.V.; Shruthi, B.V. 2007. Spatial mapping of renewable energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 1460–1480.

Remund J. 2011. Quality of Meteororm Version 6.0. Meteotest. Switzerland.

Sebastian, R. 2010. Integrated design and engineering using building information modelling: A pilot project of small-scale housing development in The Netherlands. *Architectural Engineering and Design Management* 6 (2): 103–110.

Shi, L.; Lin Chew, M. Yit. 2012. A review on sustainable design of renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 192–207.

- Skeiker, K.; Ghani, B. A. 2009. A software tool for the creation of a typical meteorological year. *Renewable Energy* 34: 544-554.
- Sorrentino, G.; Scaccianoce, G.; Morale, M.; Franzitta, V. 2012. The importance of reliable climatic data in the energy evaluation. *Energy* 48: 74-79.
- Sustainability Victoria, Australia. The renewable resource interactive maps [interaktyvus] 2013 [žiūrėta 2013 birželio 2]. Prieiga per internetą: <<http://www.sustainability.vic.gov.au/www/html/2119-interactive-maps.asp>>.
- Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems. 2004 Elsevier Ltd. ISBN: 0 08 044166 1.
- Wall, G.; Gong, M. 2001. On exergy and sustainable development – Part 1. Conditions and concepts. *Exergy an International Journal* 1(3): 128-145.
- Watson, A. 2011. Digital buildings – Challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics* 25(4): 573-581.
- Wright, J.; Charalambides, J. 2011. Building information modeling and integrated project delivery: What is the future? Proceedings, Annual Conference – *Canadian Society for Civil Engineering* 4: 2629-2638.
- Van Hoesen, J.; Letendre, S. 2010. Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning. *Renewable Energy* 35: 2114-2122.
- Xie, H.; Tramel, J.M.; Shi, W. 2011. Building information modeling and simulation for the mechanical, electrical, and plumbing systems. Proceedings of 2011 IEEE, International Conference on Computer Science and Automation Engineering: 77-80. Art. no. 5952637.

---

## Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

### **Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose**

Žėkas, V.; Martinaitis, V. 2011. Assessment of exergy for renewable energy disposable in the site of building. *Environmental and Climate Technologies: scientific journal of Riga Technical University* 6: 147–153. ISSN 1691-5208 (EBSCO).

Martinaitis, V.; Žėkas, V. 2013. Sklypo energinių išteklių informacija integruotai projektuojant pastatą. *Mokslas – Lietuvos ateitis = Science – Future of Lithuania: K. Šešelgis' Readings – 2013* 5(3): 189–194. ISSN 2029-2341 (ICONDA).

Žėkas, V.; Martinaitis, V.; Streckienė, G. 2013. Meteorologinių duomenų rengimas atsinaujinančiosios energijos integravimo procesui skatinti. *Mokslas – Lietuvos ateitis: Aplinkos apsaugos inžinerija = Science – Future of Lithuania: Environmental protection engineering* 5(4): 442–448. ISSN 2029-2341 (ICONDA).

Žėkas, V.; Martinaitis, V.; Šiupšinskas, G. 2014. Data file of the building site's renewable energy characteristics. *International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM'2013)* 155: 405–410. Springer proceedings in

physics Heidelberg: Springer International Publishing. ISSN 0930-8989. ISBN 9783319055213 (SpringerLINK).

**Straipsniai kituose leidiniuose**

Žėkas, V.; Martinaitis, V. 2013. Exergy assessment of air flow in the site of the building. *10th International Conference of young scientists on energy issues (CYSENI 2013)*: 116–126. ISSN 1822-7554.

Žėkas, V.; Martinaitis, V. 2013. Statistinis sklypą pasiekiančio atsinaujinančios energijos srauto galios vidurkio įvertinimas. *Šilumos energetika ir technologijos: konferencijos pranešimų medžiaga*: 35–38. ISBN 9986-492-80-7.



---

# Summary in English

## Introduction

### The problem of research

Conventionally, the use of RES is seen as the use of solar, wind, heat, running water and biomass energy. These are the traditional forms of resources and their technological solutions are developed over the decades. Such technologies as solar collectors, solar modules, wind turbines, water power plants and heat pumps are widely known in the society as well as their integrated solutions and increasing indicators of performance. Better indicators of performance increase the amount of used renewable energy resources. However, the extent of integration often depends on the successful adaptation of technological solution to the local operating conditions of the equipment. Quite a great competition is noticed among the supporters of different sellers of technological solutions using RES. Not always the reasonable and objective answers can be found to the questions about the alternative methods of energy supply. A great number of technological devices and solutions are designed, developed and the declared efficiency is measured at standard laboratory operating conditions. Quite often, the device installed in natural and sometimes chaotic nature environment does not reach the expected efficiency or the expected energy needs are not met. Especially, in case of a few

alternative technologies of RES use, there is no clear way which application would grant the best choice.

Increased popularity of technological solutions of RES integration requires to take a comprehensive look at RES and to evaluate them at the same level of technical options. There is a growing need to evaluate the RES potential available at energy consumer site as well as to distinguish the quantitative and qualitative guidelines of potential characteristics and to know the basic energy characteristics of the site also to design the initial technological concept of the site development on the bases of the obtained data. This should be an information reference point of integrated designing as a starting point for the next stages of simulation.

Doctoral dissertation addresses the problem of initial RES technological concept development of the site as the smallest divisible element of the territory.

### **Importance of the thesis**

The key features of today's energy sector: use of financial and political instruments to increase the integration of renewable energy sources (RES); different intensity of individual RES technologies introduction partly related to this; increasing awareness of energy consumers; increasing experience of alternative energy supply planning and introduction of technologies. Strategic objectives brought on the global and regional levels highlights these features – to promote the rational use of energy, increase the use of alternatives, primarily RES, and to stabilize the negative environmental impact of fossil fuels use. These objectives are pursued by different means or their scope in different countries and regions depending on the amount of the used fossil fuel or the extent of its distribution trunk lines.

Energy consumer vision of the future of 2013 “G.O.L.D (Global Optimized Local Designed)” presented in the International Energy Agency Strategic Plan „Towards Near-Zero Primary Energy Use and Carbon Emissions in Buildings and Communities“ (International Energy Agency, 2007–2012 Strategic Plan) shows a clear need to take into account the global impact and extent of the solutions, however, at the same time, to meet the energy needs using the local energy sources. European Parliament and the Council Directive on the Energy Performance of Buildings 19 May 2010 (2010/31/ES) (European Parliament, Directive 2010/31/EU) includes the provision that the energy needs of newly constructed, nearly zero-energy buildings should be covered by energy from renewable sources disposable on-site or nearby. This once again highlights the importance of RES for both the further development of energy consumers and the local conditions influence on planning. There is a lack of the method to evaluate the impact of the local planning conditions and at the same comprehensively identify the RES flow reaching the site also develop the initial technological concept of the energy potential use of the site.

### **The object of research**

The object of the research is the control volume area of the site and renewable energy flows accessing it as the locally disposable renewable energy of the site. The flows of solar, wind, ground and air heat energy are analyzed.

### **The aim of the thesis**

Research objective – comprehensively evaluate the RES potential disposable on site and develop a method used to create the initial technological concept of RES transformation that would be the most relevant to meet the needs of energy users and could be taken as the basis for further site development simulation.

### **The tasks of the thesis**

In order to achieve the above mentioned purpose, the following task have to be solved:

1. On the basis of systematic analysis to develop the structure of characteristic RES flows reaching the site.
2. To perform the quantitative analysis of renewable energy sources energy flows reaching the control volume of the site.
3. To prepare basic mathematical model of quantitative evaluation of energy flows of the site and to develop mathematical model C++ programming language using Qt open-source libraries graphical interpretation of the data.
4. To eliminate the impact of extreme values of energy flow on final indicators of RES potential using the methods of statistical analysis.
5. To develop a method of RES technologies selection, on the basis of which energy performance of the site is fitted with the final energy needs of the site as energy consumer.
6. To develop a file of energy characteristics presenting the RES potential of the site and suitable for further site development simulation.

### **Methodology of research**

Integral system of site, renewable energy flows reaching it, their transformation technologies and final energy use is evaluated by principles of systematic and thermodynamic analysis. Model hypotheses, assumptions and capability are tested by case study method. Research results are processed by descriptive statistical methods. Statistical characteristics that define the RES flows more precisely are determined.

### **Scientific novelty**

1. Developed thermodynamic model of locally disposable renewable energy potential evaluation. Calculation model is implemented by program „MS Excel“ and C++ programming language using Qt open source libraries.
2. Developed method of RES technologies selection, the base of which – three evaluation indicators of energy needs and RES technologies compatibility.

3. Developed data file presenting structurally identical energy characteristics of the site that helps to evaluate the potential scenario of site energy development.

### **Practical significance of the obtained results**

Quantitative indicators of comprehensive RES energy flows evaluation, annual dynamics of flows and statistical estimates, depending on energy needs of the site helps to select the most suitable RES technology more objectively. The proposed indicators of RES technologies and needs compatibility allow to design the initial concept of renewable energy transformation that can be used for the next stages of site development simulation.

### **The defended propositions**

1. Systematic analysis of RES energy flows reaching the site gives the basis to evaluate the site and its disposable RES potential as single system, where exists links between the different types of RES and the site, expressed by quantitative indicators.
2. Better engineering based integration of RES requires structural evaluation of renewable energy sources at the same level of particularity as energy flows reaching the control volume of site;
3. Thermodynamic model of site helps to identify RES flows reaching the site in the defined geometrical limits of the control volume within the exact moment.
4. Comprehensive evaluation of site RES potential and energy needs compatibility helps to create the initial concept of RES technologies needed for next stages of simulation of integrated designing. They determine the priorities of RES transformation technologies and renewing energy sources.
5. Data file of site RES comprehensive evaluation helps to create the initial technological concept of RES for further detailed simulation.

### **Approval of the research results**

6 scientific publications on the topic of this doctoral dissertation were published in peer-reviewed scientific periodicals.

Material presented in this doctoral dissertation was announced in 4 conferences:

1. International conference „52<sup>nd</sup> International Scientific Conference of Riga Technical University“, Latvia, 2011;
2. Scientific Conference „Heat Energy and Technology – 2013“ KTU, Kaunas, 2013;
3. International conference „CYSENI 2013“, LEI, Kaunas, 2013;

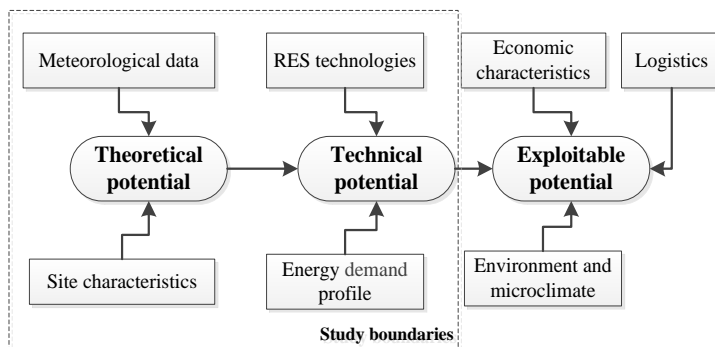
4. International conference „International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials“, ENEFM-2013, Kemer, Antalya, Turkey.

### The structure of the dissertation

Doctoral dissertation consists of introduction, 3 chapters, conclusions and list of references. The size of the paper – 128 pages, presented 46 figures, 32 tables and 71 references.

## 1. Review of renewable energy sources evaluation

Different measures and methods are applied to set the potential of renewable energy. The main principle of evaluation is that potential can be set at different levels: theoretical, technical and exploitable potential (Fig. S1).



**Fig. S1.** RES potential setting boundaries

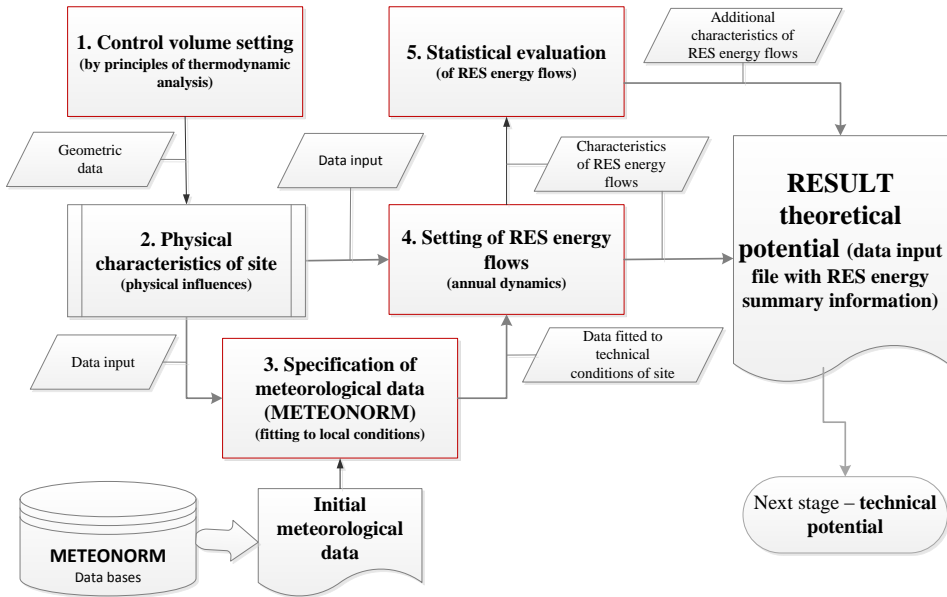
Theoretical – is seen as amount of the certain kind of energy existing in the nature; technical – potential of primary amount of the energy changed by the human activity or by the impact of efficiency, availability or other factors; exploitable – amount of energy that is economically beneficial to be absorbed.

The theoretical potential is set during the first stage (Fig. S2) which includes the two main components – technical characteristics of the site and meteorological data of specific site fitted to the technical conditions of the site.

Theoretical RES potential is specified during the second stage, evaluating the main energy transformation characteristics of RES technologies. Since the technology can transform only some part of RES theoretical potential reaching the site, so the technical potential is generally lower than theoretical one. The exception is the heat pumps, which need the additional energy amount for the initial transformation of energy and which is included in the final indicators of technical RES potential of this study.

## 2. Methodology of the site energy potential assessment

One of the basic principles of thermodynamic analysis – setting of system limits is used for comprehensive evaluation of the RES energy flow reaching the site.



**Fig. S2.** Algorithm and milestones of theoretical RES potential setting

In the case study of the site a few energy flows of different nature are evaluated. Their nature is physical one:

1. Solar radiation energy – site surface reaching energy of different intensity, depending on time.
2. Wind kinetic energy – energy reaching the area above the analyzed site surface perpendicular to the plane of the site surface.
3. Ground source heat – heat reaching the surface of the site from the side of the ground. The heat consists of two components – deep layers heat and heat temporarily accumulated in the surface layer.
4. Air source heat – energy, which evaluation uses the same lines of geometric area as the evaluation of the wind kinetic energy.

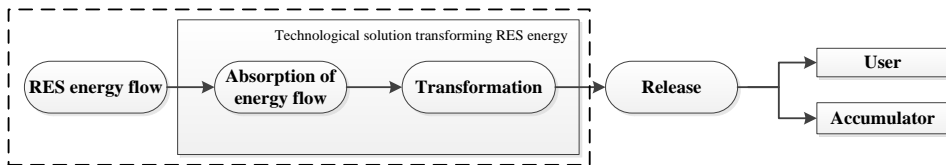
In general, the concept of control volume summarizes the geometric lines and provisions of their selection.

Balance equation (S1) expresses the energy flows reaching the set lines of the system that create the change of the internal energy of the system. Internal energy

change of the site – is renewable energy disposed at the site within the given moment, which can be transformed to the consumer desired form of energy services, depending of technical and financial possibilities.

$$dQ_S^+ + dQ_G^+ + dQ_{AG}^+ + M_O \left[ h_O + \frac{1}{2} C_O^2 \right] = dU. \quad (S1)$$

Technology is evaluated only as the RES energy transforming to the one meeting the building needs, namely, heat, cool and electricity. The model does not include accumulation component (Fig. 4S). Accumulation, as well as the development of the strategy for transformed energy use, is considered to be a secondary phase of technical potential use.



**Fig. S3.** Lines of technological solution analyzed in the study (dotted line)

Aliasing of technologies is not evaluated in the technical potential setting. It is considered, that the potential is set as the maximum possible amount of energy that can be generated by the technology transforming the initial form of the source to the consumer desired form of energy. The cases of technical potential are presented in Figure S4.

In order to identify the efficiency of the used technology, the ratio of theoretical and technical potential must be set, taking the theoretical RES potential as efficiency of the technology:

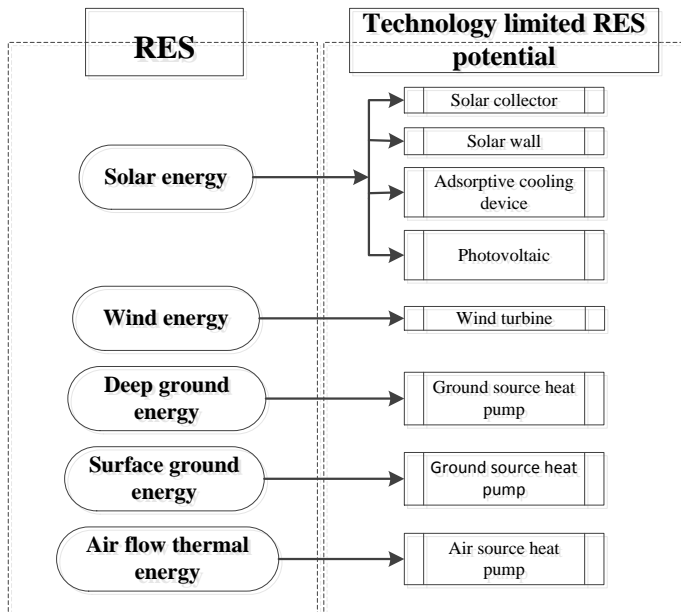
$$\chi = \frac{Q_{techninis}}{Q_{teorinis}}. \quad (S2)$$

The more efficient the technology is, the more ration of theoretical and technical potential is closer to 1.

As the RES potential of the site under the natural environment conditions is compared to technological solution, replacing the natural conditions, the possible efficiency of RES use is larger than 1.

Indicator of RES use efficiency provides additional information on the possible improvement of technology and its use.

RES potential disposable on site must be evaluated at the same level of particularity, during the initial stage of engineering solution concept development, prior to systems' simulation start and to select the most rational RES technologies on the basis of that.



**Fig. S4.** Cases of technical potential setting

As the overview of literature has proved, the engineering indicators have been already used in RES transformers' optimization tasks, which provide information on the energy benefits of the selected RES technology. However, these indicators show the advantages and disadvantages of already developed technological solution and do not inform on the ratio of technical RES potential with the newly created energy needs of the site. It is important to evaluate the total RES potential disposable on site and taking into account the dynamics of the year or selected season period power values, to develop a guidelines applied to technological concept of the site.

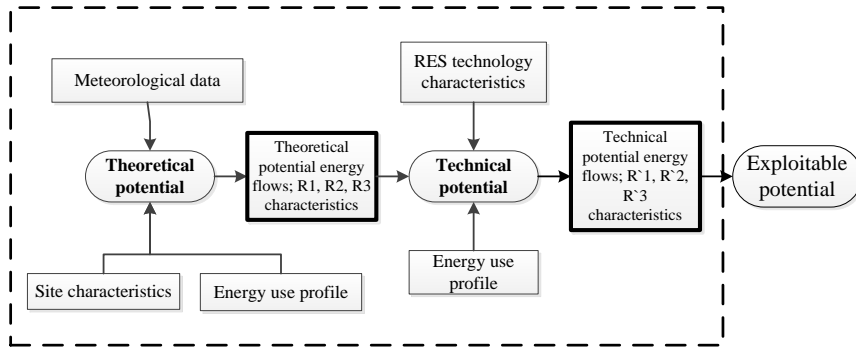
The following targets are set for identification of concept solution guidelines:

1. To identify the theoretical RES potential on the basis of the available meteorological data array.
2. To set the technical RES potential on the basis of evaluation of the initial simplified technical characteristics of technological solutions.
3. To set the priority of acceptability of each technological solution / technology on the basis of the developed energy needs of the building;
4. To identify the capacity of technological solution/technology.

The outcomes of these targets – acceptability of applied certain RES technology, in order to meet the energy needs of the site. In this study, the compatibility indicators of disposed RES potential and energy needs are proposed to be used for acceptability evaluation. For simplicity, they are to be called indicators R.



Certain actions are performed for evaluation of compatibility of RES technological solution with the energy needs of the site, taking into account the local conditions of the certain site, which structurally are presented in Figure S5.



**Fig. S5.** Renewable energy sources potential setting levels and compatibility indicators identification point (scope of the study is marked in dotted line)

RES technologies are selected on the basis of three R indicators that evaluate the compatibility of RES potential and the needs, in order to meet the energy needs of the building (Table S1).

Hourly energy needs (heat, cool and electricity) variation is used for this calculation model. The data used is taken from building energy needs simulation works of typical residential, single family, low-energy house performed by Department of Building Energetics.

**Table S1.** Indicators of technologies selection

No.	Indicator	Brief description of indicator	Numerical value of indicator
1.	R1	Reserve of needs meeting	Hourly ratio or average of ratio values covering the selected period, dimensionless value
2.	R2	Consistency of needs meeting	Hourly logical “yes=1” or “no=0” value or the total “yes” volume ratio covering the selected period, dimensionless value
3.	R3	Energy potential passing with the needs over the time	Hourly capacity difference or total difference of selected period, kW

Meeting of basic energy needs part and part of the needs if developed in the calculation model. Accordingly, the indicators are set in these cases.

### 3. Results of renewable energy sources potential transforming technologies selection

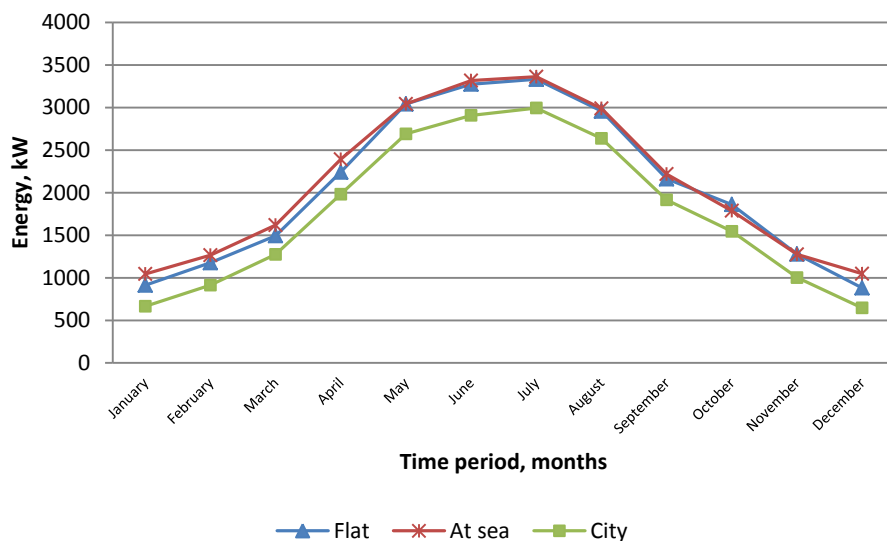
Case study with three freely selected sites was performed for testing of calculation models (Table S2).

**Table S2.** Data of sites selected for case study

Site No.	Type of location	Coordinates of site centre (WGS)	Name of site
1.	Open, flat suburb territory	54.7917 25.2775	„Flat“
2.	Territory at woodland, sea area	55.7486 21.088	„At sea“
3.	Territory of city at low-rise houses area	54.6286 25.2512	„City“

Calculations data is taken from the meteorological data array generated by computer program METEONORM. Meteorological data of the selected area is generated on the basis of the actual data (long-term averages) of the nearest meteorological stations using the method of interpolation. Meteorological data generated at the central point of the site is taken as average values reflecting the energy state of the whole site. It is natural, that three-dimensional computer simulation of flows covering the entire volume is needed for more precise setting of RES potential and that the local obstacles (vegetation, surface roughness and etc.) impact the dynamics of flows of such size area, so it must be specified applying computer simulation tools. In this study, the impact of surrounding environment was not evaluated in greater details. All calculations were performed by “MS Office” software package “Excel”. Separately, the mathematic models were developed in programming language C++. Value of deep ground heat flow is taken from heat flow maps of international data base and is equal to  $45 \text{ mW/m}^2$ .

LDAE dynamics of selected areas within the year period is presented in Figure S6.



**Fig. S6.** Annual RES potential dynamics of three selected sites

Numerical information of three sites is presented in Table S3.

**Table S3.** Renewable energy sources potential disposable on three sites

Type of site	Solar energy	Deep ground energy	Wind energy	Air flow heat	Ground surface layer heat	LDAE potential annual average
	W/m <sup>2</sup>					
„Flat“	112	0,05	43	49	0,53	205
„At sea“	114	0,05	41	56	0,26	211
„City“	112	0,05	25	38	0,47	177

As the comparison of results shows, the total potential is 177–205 W/m<sup>2</sup>: the smallest potential is in “City”, the largest – “At sea” site. Practically, all component values of LDAE potential are smallest at “City” site.

Summary data of technical potential evaluation is presented in Table 4S. Data is presented as the average of corresponding values of three sites.

**Table S4.** Average values of technical potential evaluation of three sites

No.	Technology		Average annual capacity of three sites, kW		
			„Flat“	„At sea“	„City“
Solar collectors					
1		Rooms’ heating	3397	3325	3338
2		Hot water preparation	3140	3062	3082
3	Adsorptive cooling device	Cooling	0,04	0,04	0,04
4	Solar modules	Except cooling	245	250	246
5	Wind turbine	Except cooling	28	27	23
Ground heat pump with vertical collector					
6		Rooms’ heating	2,02	2,02	2,02
7		Hot water preparation	2,70	2,70	2,70
8		Cooling	64	64	64
Ground heat pump with horizontal collector					
9		Rooms’ heating	201	205	213
10		Hot water preparation	271	277	287
11		Cooling	40	40	40
Air source heat pump					
12		Rooms’ heating	6,13	6,14	4,61
13		Hot water preparation	8,49	7,54	6,27
14		Cooling	5,89	6,05	4,46
15	Leak-free solar collector	Rooms’ heating	6,13	6,14	4,61

As the results of technical potential evaluation show, the theoretical potential has the different indicator of the use – from part of potential use till the one exceeding the theoretical potential of the site. In solar case, the theoretical potential is used for rooms' heating and hot water preparation by solar collectors technology up till 37 %, while in the case of solar modules – 11 % and in wind energy case – only 3,6 %. Technological solutions of ground heat pumps and RES transformation, taking place within the scope of this study assumptions, exceed the theoretical potential, which indicates the exhaustion of source in the long-term perspective. Air source heat pump, within the scope of made assumptions, transforms app. 1 % of air flow heat potential reaching the

site. Comprehensive evaluation of RES theoretical and technical potentials of the site “Flat” is presented in this paper.

Evaluation of RES technologies and energy needs compatibility was performed on the basis of the set theoretical and technical potentials and description of energy needs of the building, as energy consumer, developed on site.

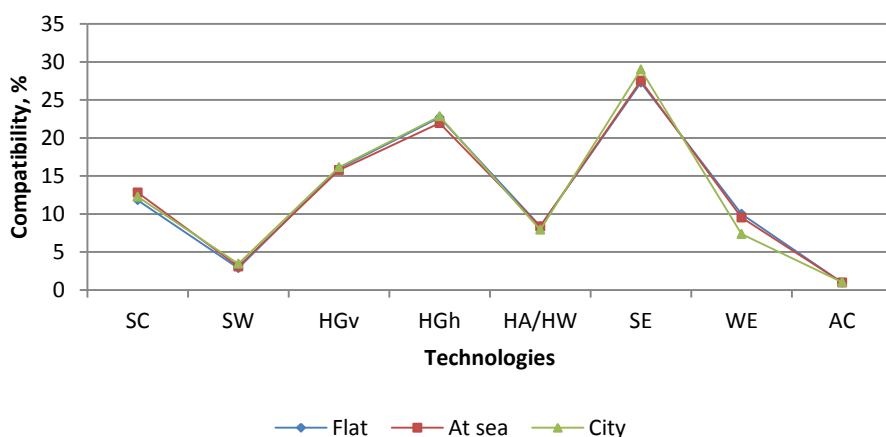
Summary information of technologies compatibility, in percentage form, is presented in Table S5.

**Table S5.** Summary indicators of technologies and energy needs compatibility

Site/technology	SC	SW	HGv	HGh	HA/HW	SE	WE	AC
„Flat“	11,81	2,88	15,99	22,70	8,39	27,28	10,00	0,97
„At sea“	12,81	3,09	15,77	21,95	8,34	27,53	9,53	0,98
„City“	12,27	3,45	16,15	22,84	7,91	28,99	7,36	1,03

As results of calculations shows, the given compatibility values are quite similar. The initial conclusion can be made that the impact of meteorological data changes of the site is rather insignificant. This supplements the results of theoretical potential use indicator setting. The use of theoretical potential of the major part of technologies is negligibly small, so the fluctuations of RES potential in nature, within the set geometric lines, does not have the significant impact on technical potential as well as on the selection of technologies. The main factors of influence are the assumptions of technical potential setting.

Graphical interpretation of compatibility is presented in Figure S7.



**Fig. S7.** Total percentage of separate RES transforming technologies compatibility with the building energy needs

As the diagram of Fig. S7 shows, the maximum total compatibility with the site needs is of solar modules and geothermal pump with horizontal collector. The compatibility of solar modules is 25–30% and of ground heat pump – 20–25%.

The minimum compatibility, under the made technical assumptions, has adsorptive cooling device and channel solar collector – 0–2,5 % and 2,5–5%, respectively.

Comprehensive evaluation of technologies selection results of site “Flat” is presented in this paper.

## General conclusions

1. The overview of literature on the theme of this doctoral dissertation has showed, that there is a lot of technical information about the individual sources of renewable energy, but there is a lack of the method, by which and the information on the comprehensive evaluation of the site and the expected consumers' energy needs, the initial technological site RES development concept could be created.
2. Mathematic models of RES theoretical and technical potential evaluation, developed on the principles of thermodynamic analysis, helps to evaluate RES potential on the same level of particularity. The results of case studies of three sites in middle climate zone, that on the basis of the study made assumptions, the average annual capacity change limits of maximum RES theoretical potential is 177–205 W/m<sup>2</sup>. Average capacity of solar energy flow - 112–114 W/m<sup>2</sup>, of wind - 25–43 W/m<sup>2</sup> of air heat - 38–56 kW/m<sup>2</sup> and capacity of ground surface layer heat flow - 0,26–0,53 W/m<sup>2</sup>.
3. Study elaborated procedure of theoretical and technical potentials' comparison helps to identify the possible potential of technologies development. The made case study shows, that 34–36 % of solar theoretical potential, 3,5–3,6 % of wind and 1,1–1,6 % of air heat possible theoretical potential can be used on site, depending on the type on energy needs.
4. The statistical analysis of calculation results showed, that the direct use of arithmetic average of energy flows capacity is not purposeful. The impact of extreme individual RES flows values is quite significant and distort the characteristics of energy flows. The case study proved, that greatest impact of individual extreme capacity values on the general result is in case of wind energy. The average capacity of wind flow, excluding the impact of extreme values, by the methods of statistical analysis, is 70–80% and is lower than the set average capacity value.
5. Capacity values dispersal study of descriptive statistical characteristics helps to identify the range of technological solutions operating parameters. The made case study showed, that technologies transforming solar energy shall operate at the largest range of capacity

values. The range of operation is defined by the largest inter-block area, which in case of solar energy app. is  $74,6 \text{ W/m}^2$ .

6. Study proposes method of RES potential and needs compatibility setting, based on three indicators of compatibility, for the selection of RES technologies that are the most compatible with energy needs. The case study showed, that the most compatible with energy needs of low-energy buildings at suburban area, are: Ground heat pump for rooms heating and cooling needs (compatibility percentage for heating – 31 % and for cooling – 47 %); Solar collectors for hot water preparation (36 %); Solar modules for electricity needs (76 %).
7. The data of quantitative evaluation of RES theoretical and technical potential is advisable to be loaded to the study proposed file of further simulation source characteristics, for comprehensive evaluation of site RES potential. The file must contain the summary information of RES energy flows theoretical and technical potential as well as meteorological data also the list of priorities of RES technologies most compatible with energy needs of the site.





---

## Priedai<sup>1</sup>

**A priedas.** Bendraautorių sutikimai teikti publikacijų medžiagą disertacijoje.

**B priedas.** Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos.

---

<sup>1</sup> Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Vygantas Žėkas

SKLYPO ATSINAUJINANČIUS ENERGIJOS IŠTEKLIUS NAUDOJANČIŲ  
TECHNOLOGIJŲ ATRANKOS METODAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
Energetika ir termoinžinerija (06T)

Vygantas Žėkas

SELECTION METHOD OF TECHNOLOGIES TRANSFORMING RENEWABLE ENERGY  
SOURCES OF THE SITE

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Energetics and power engineering (06T)

2014 11 01. 12,5 sp. I. Tiražas 20 egz.  
Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
leidykla „Technika“,  
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,  
<http://leidykla.vgtu.lt>  
Spausdino UAB „Baltijos kopija“  
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius